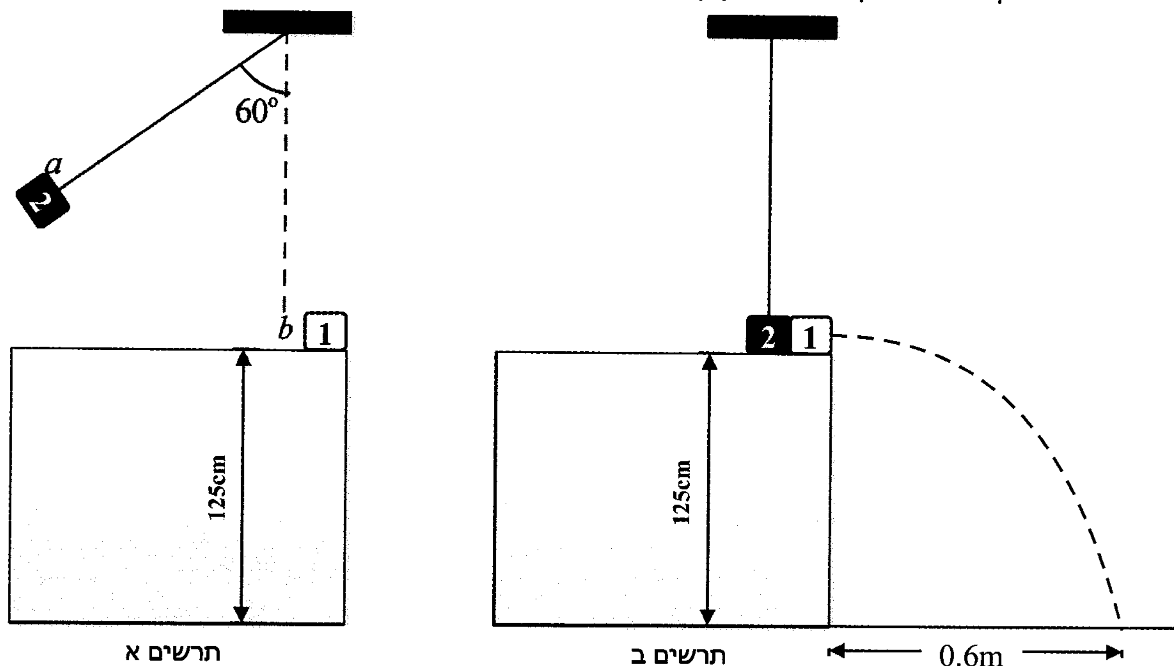
# פרק 5 – שאלות במתקף ותנע

### שאלה 1\פרק 5

גוף 1 שמסתו $m_1 = 2\text{kg}$ מונח בקצה שולחן אופקי וחלק, בגובה 125 ס"מ מהרצפה. בצמוד אליו מונח גוף 2 שמסתו $m_2 = 0.8\text{kg}$ וקשור לקצה חוט שמסתו זניחה ואורכו $\ell = 1.6\text{m}$. הקצה השני של החוט קשור לתקרה כך שהחוט מתוח (הגוף 2 מורם מעט מעל השולחן). מסיטים את גוף 2 הצידה, עד שנוצרת בין החוט לאנך זווית של $60^\circ$, ומשחררים אותו ממנוחה (ראה תרשים א'). גוף 2 מתנגש בגוף 1 בתחתית המסלול שלו, וכתוצאה מההתנגשות, גוף 1 מקבל מהירות אופקית ופוגע ברצפה במרחק $0.6\text{m}$ מקצה השולחן (ראה תרשים ב').




א. חשב את המהירות שבה גוף 2 מתנגש בגוף 1. סמן מהירות זו ב- $v_2$.

ב. חשב את מהירותו של גוף 1 מיד לאחר ההתנגשות. סמן מהירות זו ב- $u_1$.

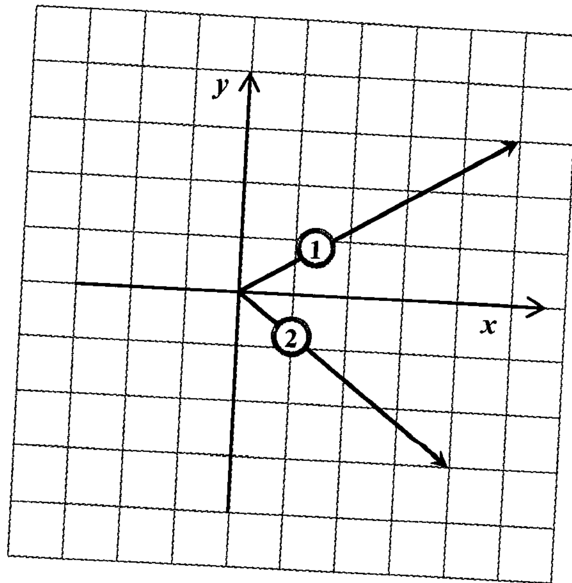
ג. חשב את מהירותו של גוף 2 מיד לאחר ההתנגשות. סמן מהירות זו ב- $u_2$.

ד. חשב את גודל הזווית המקסימלית הנוצרת בין החוט לאנך לאחר ההתנגשות.

ה. הנח שההתנגשות בין שני הגופים הייתה אלסטית לחלוטין וחשב את המרחק האופקי של נקודת הפגיעה של גוף 1 בקרקע מרגלי השולחן.

### שאלה 2\פרק 5

דסקית 1 שמסתה $m_1 = 0.2\text{kg}$ נעה על משטח אופקי חלק במהירות קבועה, ומתנגשת בדיסקית 2 שמסתה $m_2 = 0.3\text{kg}$ ונמצאת במנוחה על המשטח. בתרשים שלפניך מתוארים וקטורי התנע של שתי הדיסקיות מיד לאחר ההתנגשות, כאשר ציר $x$ נבחר להיות בכיוון תנועת הדיסקית 1 לפני ההתנגשות וציר $y$ מאונך לו ומקביל למשטח האופקי. נתון שצלע כל ריבוע קטן בתרשים מייצג תנע שגודלו $0.2\text{kg m/s}$.




א. חשב את גודל וכיוון התנע של דיסקית 1 לפני ההתנגשות.

ב. חשב את מהירות דיסקית 1 לפני ההתנגשות.

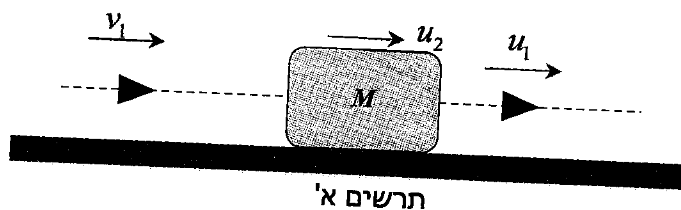
ג. חשב את גודלו וכיוונו של המתקף שדיסקית 1 הפעילה על דיסקית 2 במהלך ההתנגשות.

ד. חשב את גודלו וכיוונו של המתקף שדיסקית 2 הפעילה על דיסקית 1 במהלך ההתנגשות.

ה. חשב את גודלו וכיוונו של הכוח הממוצע שכל דיסקית הפעילה על הדיסקית האחרת, אם נתון שמשך זמן ההתנגשות היה $0.2\text{s}$.

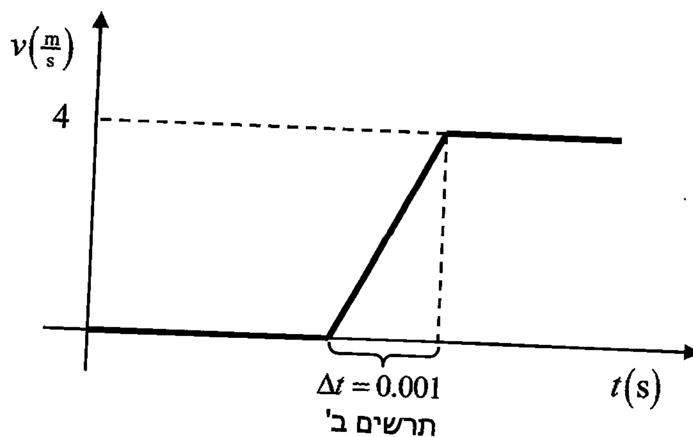
**שאלה 3\פרק 5**

קליע שמסתו $m = 40\text{g}$ נע במקביל למשטח אופקי במהירות קבועה שגודלה $v_1 = 600\text{m/s}$. הקליע פוגע בבול עץ שמסתו $M = 4\text{kg}$ הנמצא במנוחה על המשטח. הקליע נכנס מצד אחד של הבול ויוצא מצדו האחר כפי שמתואר בתרשים א'.



תרשים א'

הגרף המוצג בתרשים ב' מתאר את מהירות בול העץ כפונקציה של הזמן, לפני, במהלך ואחרי ההתנגשות:



תרשים ב'

נתון שהמשטח חלק.

א. חשב את גודלו וכיוונו של הכוח שהקליע הפעיל על בול העץ (בהנחה שהוא קבוע).

ב. חשב את גודלו וכיוונו של הכוח שבול העץ הפעיל על הקליע.

ג. האם מתקיים שימור התנע בהתנגשות זו? הסבר את תשובתך.

ד. חשב את השינוי בתנע של בול העץ ואת השינוי בתנע של הקליע.

ה. חשב את מהירות הקליע לאחר שהוא יוצא מבול העץ.

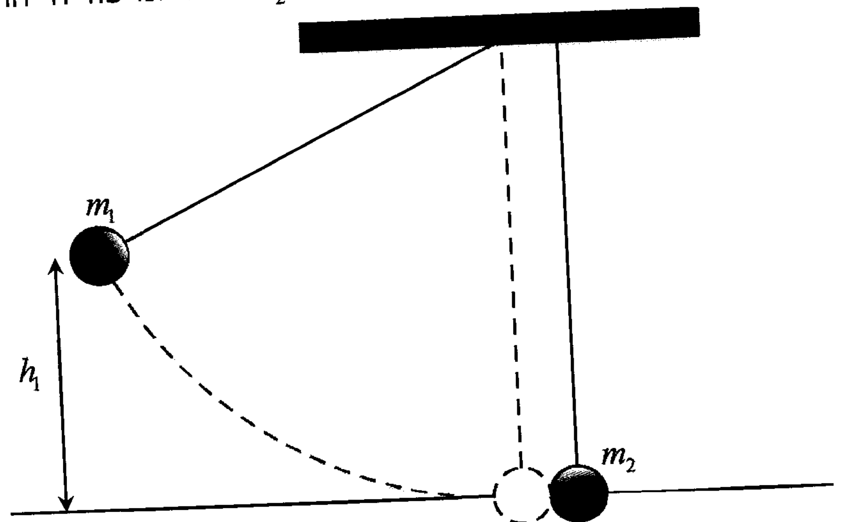
ו. חשב את תאוצת הקליע בתנועתו בתוך בול העץ.

ז. חשב את האורך המינימלי האפשרי עבור בול העץ, על מנת שהקליע לא יצא מקצהו האחר (הנח שגודלו של הכוח שבול העץ מפעיל על הקליע שחישבת בסעיף ב' אינו משתנה).

## שאלה 4\פרק 5

נתונים שני כדורים קטנים בעלי רדיוס זהה ומסותיהם $m_1$ ו- $m_2$, בהתאמה. שני הכדורים תלויים מהתקרה באמצעות שני חוטים זהים שמסתם זניחה. הכדורים נוגעים זה בזה, ומרכזיהם נמצאים באותו גובה מעל פני הקרקע (במצב זה החוטים ניצבים לתקרה).

מסיטים את הכדור הראשון הצידה לנקודה הנמצאת בגובה $h_1$ ביחס למישור הייחוס, שהוא המישור האופקי העובר במרכזי שני הכדורים כשהם נמצאים בנקודה הנמוכה ביותר (ראה תרשים), ומשחררים אותו ממנוחה. כדור זה מתנגש בכדור השני התנגשות פלסטית. שני הכדורים מגיעים לאחר ההתנגשות לגובה מקסימלי שגודלו $h_2$ ביחס למישור הייחוס.




א. מצא את היחס בין האנרגיה הקינטית של שני הכדורים מיד לאחר ההתנגשות ובין האנרגיה הקינטית שלהם רגע לפני ההתנגשות. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים $h_1$, $h_2$, $m_1$ ו- $m_2$.

ב. מצא את ההפסד באנרגיה הקינטית בתהליך התנגשות. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים $h_1$, $h_2$, $m_1$ ו- $m_2$.

תלמיד ערך את הניסוי הבא: הוא שינה מספר פעמים את הגובה ההתחלתי $h_1$, ובכל פעם מדד את

הגובה $h_2$ אליו הגיעו הכדורים. להלן תוצאות המדידות:

| $h_1(\text{m})$ | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_2(\text{m})$ | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 |

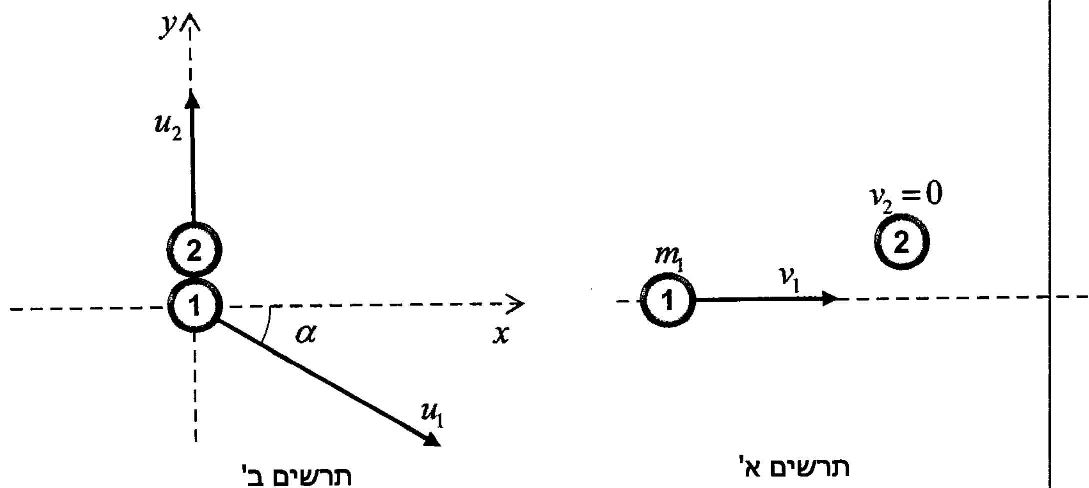
ג. הראה שמתקיים הקשר הבא בין $h_2$ ו-$h_1$: $h_2 = \left(\frac{1}{1+m_2/m_1}\right)^2 h_1$.

ד. שרטט גרף המתאר את $h_2$ כפונקציה של $h_1$.

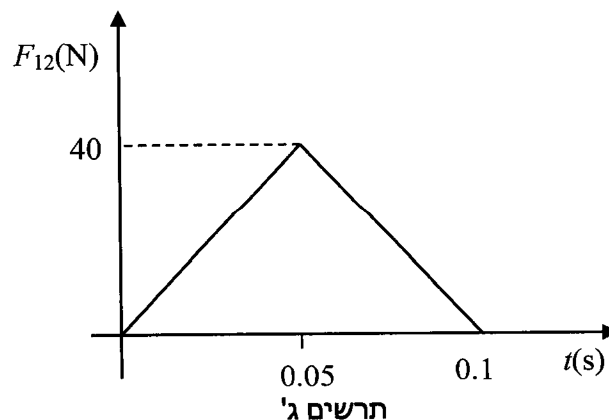
ה. חשב את היחס $m_2/m_1$ בניסוי שערך התלמיד.

## שאלה 5\פרק 5

דיסקית 1 שמסתה $m_1 = 0.4\text{kg}$, נעה על משטח אופקי חלק במהירות קבועה שגודלה $v_1 = 6\text{m/s}$ (ראה תרשים א'). היא מתנגשת בדיסקית אחרת, 2, שמסתה $m_2 = 0.2\text{kg}$ הנמצאת במנוחה $(v_2 = 0)$ על המשטח. כתוצאה מההתנגשות הדיסקית 2 מתחילה לנוע בכיוון הניצב לכיוון תנועתה של דיסקית 1 לפני ההתנגשות, והדיסקית 1 נעה בכיוון היוצר זווית $\alpha$ ביחס לכיוון תנועתה לפני ההתנגשות (ראה תרשים ב').




תרשים ג' מתאר את הכוח שדיסקית 1 הפעילה על דיסקית 2 כפונקציה של הזמן במהלך ההתנגשות.



תרשים ג'

א. קבע מהו כיוונו של הכוח שהדיסקית 1 הפעילה במהלך ההתנגשות על הדיסקית 2. הסבר את תשובתך.

ב. חשב את גודלו וכיוונו של המתקף שדיסקית 1 הפעילה על דיסקית 2.

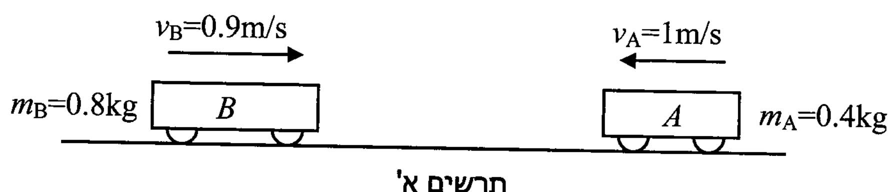
ג. חשב את גודלו וכיוונו של המתקף שדיסקית 2 הפעילה על דיסקית 1.

ד. חשב את הגודל והכיוון של המהירות של דיסקית 2 לאחר ההתנגשות.

ה. חשב את הגודל והכיוון של המהירות של דיסקית 1 לאחר ההתנגשות.

**שאלה 6\פרק 5**

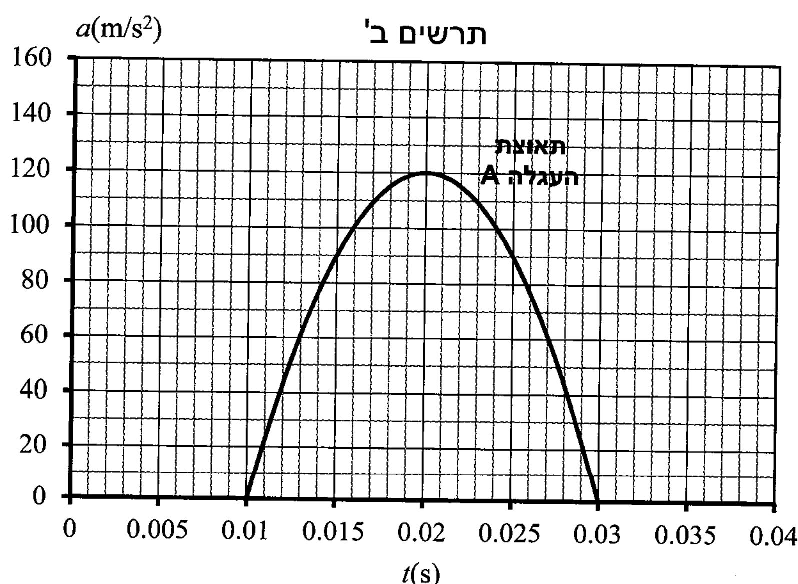
שתי עגלות $A$ ו-$B$ נעות על מסלול אופקי זו לקראת זו כפי שמתואר בתרשים א'.




**תרשים א'**

מסת העגלה $A$ היא $400g$ ומהירותה $1m/s$ בכיוון שמאל, ומסת העגלה $B$ היא $800g$ ומהירותה $0.9m/s$ בכיוון ימין (ראה תרשים א').

העגלות מתנגשות במהלך תנועתן התנגשות חזיתית. הגרף המתואר בתרשים ב' מתאר את תאוצת העגלה $A$ כפונקציה של הזמן במהלך ההתנגשות. נתון שבין הגרף המתואר בתרשים ב' ובין ציר הזמן כלואות כ- 158 משבצות.




נתון שכוחות החיכוך בבעיה זניחים.

א. התייחס לאיור בתרשים א' ולגרף הנתון וקבע מהו הכיוון החיובי שנבחר בבעיה זו, ימינה או שמאלה? הסבר את תשובתך.

ב. העתק למחברתך את הגרף (תרשים ב'), ושרטט באותה מערכת צירים גרף נוסף אשר מתאר את תאוצת העגלה $B$ כפונקציה של הזמן.

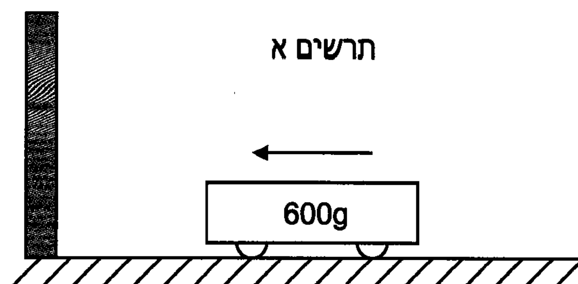
ג. חשב את גודלו וכיוונו של המתקף שפעל על העגלה $A$ במהלך ההתנגשות.

ד. חשב את גודלו וכיוונו של המתקף שפעל על העגלה $B$ במהלך ההתנגשות.

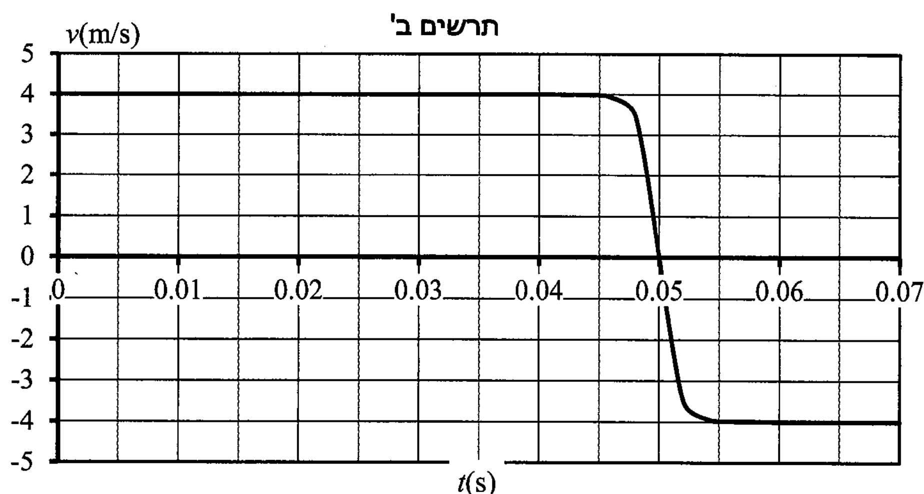
ה. חשב את גודל וכיוון המהירות של כל אחת משתי העגלות לאחר ההתנגשות.

**שאלה 7\פרק 5**

עגלה שמסה $600g$ נעה על משטח אופקי וחלק, ומתנגשת בקיר בכיוון הניצב לו כמתואר בתרשים א'.




בתרשים ב' מוצג גרף המתאר את מהירות העגלה כפונקציה של הזמן, לפני ההתנגשות, במהלך ההתנגשות ולאחר ההתנגשות.




א. התייחס לאיור בתרשים א' ולגרף הנתון וקבע מהו הכיוון החיובי שנבחר בבעיה זו, ימינה או שמאלה? הסבר את תשובתך.

ב. האם התנגשות העגלה בקיר היא אלסטית לחלוטין? נמק.

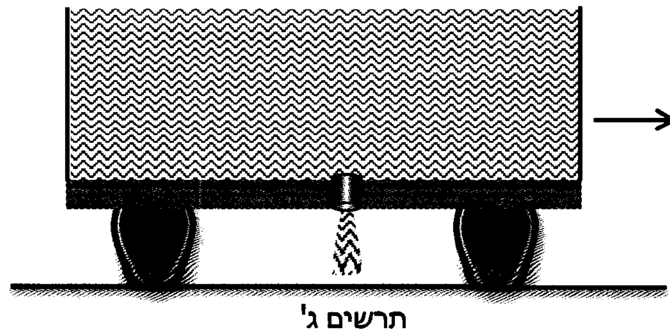
ג. חשב את גודל וכיוון השינוי בתנע של העגלה כתוצאה מההתנגשות.

ד. חשב את גודל וכיוון המתקף שהקיר הפעיל על העגלה במהלך ההתנגשות.

ה. חשב את גודל וכיוון הכוח הממוצע שהקיר הפעיל על העגלה במהלך ההתנגשות.

**שאלה 8\פרק 5**

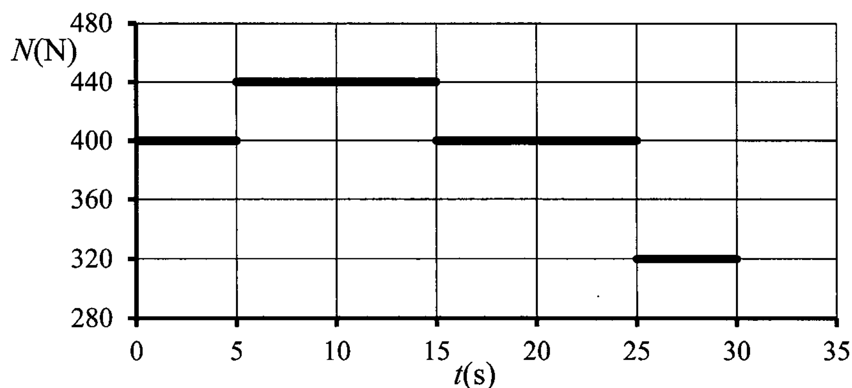
מניחים שתי תיבות 1 ו-2 על שולחן אופקי חלק שגובהו $h=1.25\text{m}$, ומניחים בין שתי התיבות קפיץ. באמצעות שתי התיבות מכווצים את הקפיץ בשיעור $\Delta\ell=10\text{cm}$, וברגע מסוים משחררים את התיבות. כתוצאה מכך, כל אחת משתי התיבות מקבלת מהירות מסוימת: תיבה 1 מקבלת



תרשים ג'

### שאלה 13\פרק 5

תלמיד עומד על מאזניים המונחים על רצפת מעלית הנמצאת במנוחה. כשהמעלית עדיין נמצאת במנוחה, התלמיד מתחיל למדוד את קריאת המאזניים כפונקציה של הזמן, וממשיך במדידה גם לאחר שהמעלית מתחילה לנוע. הגרף שלפניך מתאר את תוצאות המדידה:




א. חשב את מסת התלמיד.

ב. חשב את תאוצת המעלית בשלבי התנועה השונים.

ג. שרטט גרף המתאר את מהירות המעלית כפונקציה של הזמן מ-$t=0$ עד $t=30\text{s}$.

ד. תאר במלים את תנועת המעלית עד $t=30\text{s}$.

ה. חשב את העתק המעלית מ-$t=0$ עד $t=30\text{s}$, וחשב את מהירותה הממוצעת בפרק זמן זה.

ו. חשב את המתקף הכולל שפעל על התלמיד עד $t=25\text{s}$, וחשב באמצעות מתקף זה את מהירות התלמיד (המעלית) ב-$t=25\text{s}$.

### שאלה 14\פרק 5

אב ובנו עומדים במנוחה על משטח קרח במרחק $d=12\text{m}$ זה מזה, ומחזיקים בשני הקצוות של חבל שמסתו זניחה. מסת האב $m_1=80\text{kg}$ ומסת הבן $m_2=40\text{kg}$ (ראה תרשים).

ב-$t=0$, מתחיל האב למשוך את החבל בכוח קבוע שגודלו $40\text{N}$, וכתוצאה מכך מתחילים האב ובנו להתקרב אחד לשני. בחר $x=0$ במיקום האב ב-$t=0$ ואת הכיוון החיובי ימינה (ראה תרשים).

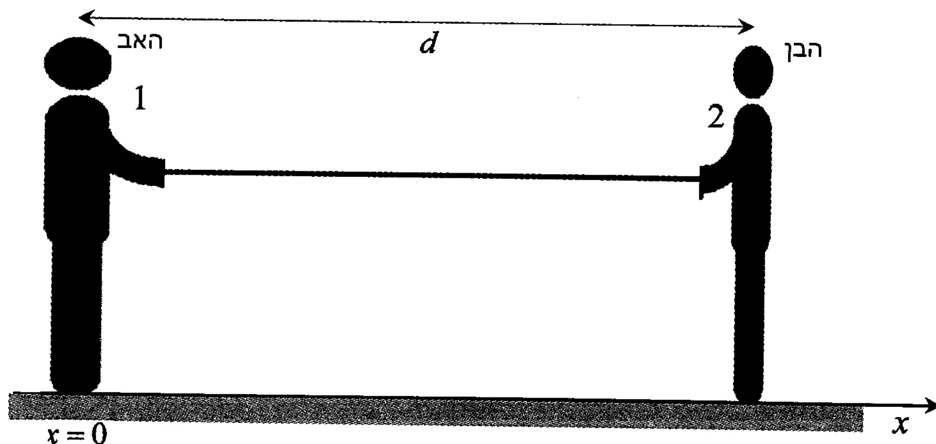
א. חשב את זמן ומיקום נקודת המפגש של האב עם בנו.

ב. חשב את מהירותם של האב והבן רגע לפני המפגש.

ג. חשב את מהירותם המשותפת מיד לאחר שהם נפגשים.

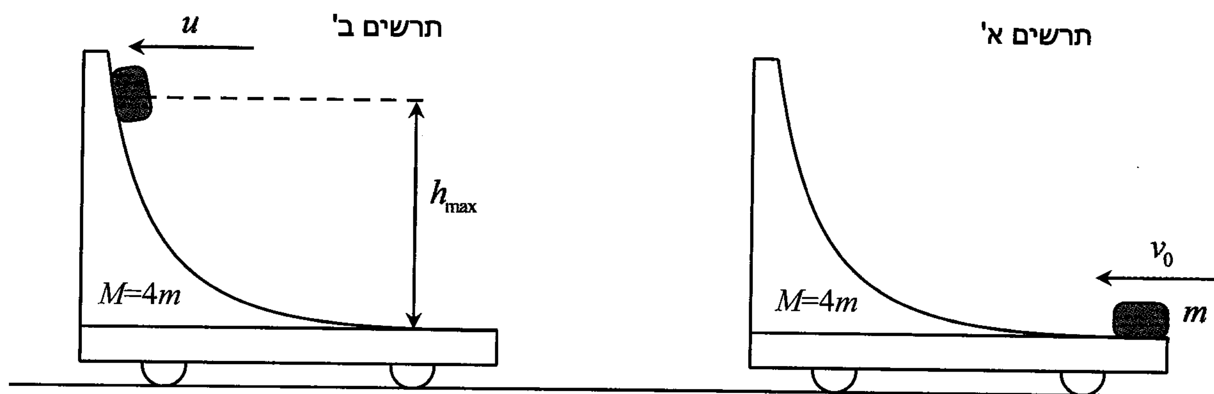
ד. נניח שהאב נועל נעל שסולייתו עשויה מחומר שגורם לכך שהחיכוך בינו ובין הקרח אינו זניח.

האם במקרה זה כשהאב והבן נפגשים הם נעצרים, או ממשיכים לנוע ביחד במהירות משותפת? הסבר את תשובתך.




**שאלה 15\פרק 5**

גוף קטן שמסתו $m$ מונח בקצה עגלה שמסתה $M = 4m$, הנמצאת במנוחה על משטח אופקי חלק. מבנה העגלה מתואר בתרשים א'. ברגע מסוים מקנים לגוף מהירות אופקית שגודלה $v_0$, ביחס לרצפה, בכיוון המתואר בתרשים א'. כתוצאה מכך העגלה מתחילה לנוע שמאלה, והגוף מתחיל לטפס על העגלה עד לגובה מקסימלי $h_{max}$ כפי שמתואר בתרשים ב', ומיד לאחר מכן חוזר ויורד למישור ההתחלה.




נתון שאין חיכוך בין הגוף והעגלה.

א. מצא את מהירות העגלה כאשר הגוף מגיע לגובה המקסימלי $h_{max}$. בטא את תשובתך באמצעות הגודל $v_0$.

ב. מצא את הגובה $h_{max}$ אליו מגיע הגוף על העגלה. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים $v_0$ ותאוצת הכובד $g$.

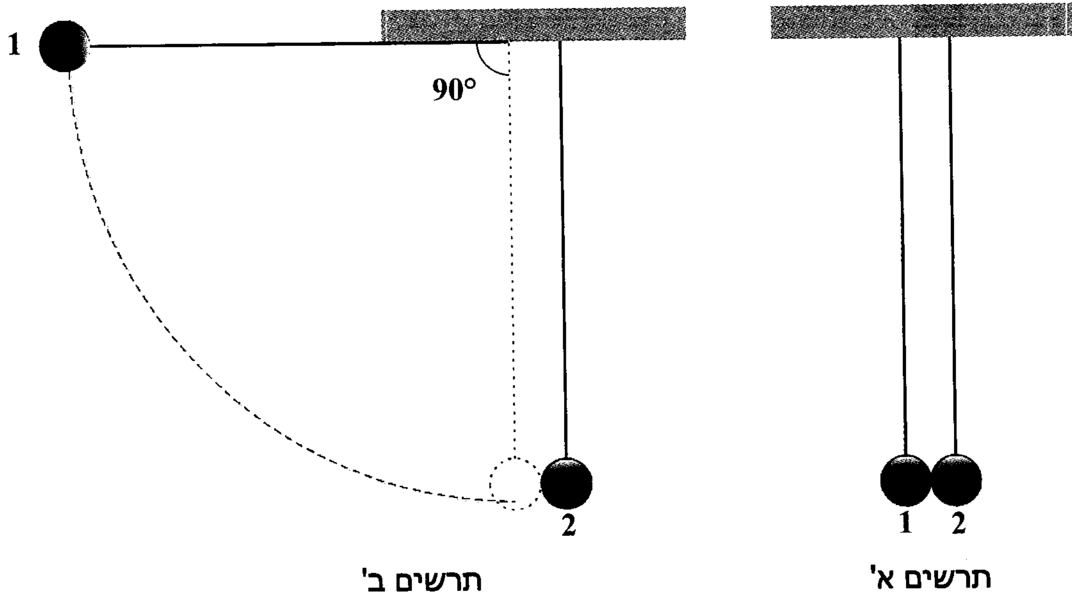
ג. מצא את המהירויות של הגוף והעגלה כאשר הגוף חוזר שוב למישור ההתחלה. בטא את תשובתך באמצעות הגודל $v_0$.

ד. מצא את סכום האנרגיות הקינטיות של העגלה ושל הגוף לאחר שהגוף חוזר למישור ההתחלתי. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים $m$ ו-$v_0$.

## שאלה 16\פרק 5

שני כדורים 1 ו-2 שיש להם רדיוס זהה, קשורים לקצוות שני חוטים זהים שמסותיהן זניחות. הקצוות האחרים של החוטים קשורים לתקרה כך ששני הכדורים נוגעים זה בזה (ראה תאשים א'). במצב זה שני החוטים ניצבים לפני הקרקע. נתון שמסת הכדור 1 היא $m$ ומסת הכדור 2 היא $2m$.

מסיטים את הכדור 1 הצידה עד שנוצרת בין החוט הקשור אליו ובין האנך זווית של $90^\circ$ כפי שמתואר בתרשים ב', ומשחררים אותו ממנוחה. כתוצאה מכך, כדור 1 מתנגש במהלך תנועתו בכדור 2 בתחתית המסלול.




א. בטא, באמצעות הגדלים $\ell$ ו-$g$, את המהירות שבה כדור 1 מתנגש בכדור 2.

ב. בטא, באמצעות הגדלים $\ell$ ו-$g$, את המהירות של כל אחד משני הכדורים מיד לאחר ההתנגשות אם נתון שההתנגשות היא אלסטית לחלוטין.

ג. חשב את הזווית המקסימלית הנוצרת לאחר ההתנגשות בין החוט הקשור לכדור 2 ובין האנך.

ד. חשב את הזווית המקסימלית הנוצרת בין החוטים לאנך, לאחר ההתנגשות, אם ההתנגשות היא פלסטית.

## שאלה 17\פרק 5

תלמיד יושב בתוך קרונית הנעה על משטח אופקי חלק במהירות של $0.4\,\text{m/s}$ ונושא בידו כדור שמסתו $m = 0.5\,\text{kg}$. נתון שמסת הקרונית ביחד עם התלמיד (ללא הכדור) היא $M = 40\,\text{kg}$.

התלמיד מושיט את ידי אל מחוץ לקרונית (כך שמהירות הכדור אפס ביחס לקרונית) ומשחרר את הכדור. הכדור נע ונופל על המשטח.

א. חשב את מהירות הקרונית לאחר שהתלמיד שחרר את הכדור, וגם את מהירות הכדור ביחס למשטח מיד אחרי שחרורו.

במקרה אחר התלמיד זרק את הכדור במהירות שגודלה $4\,\text{m/s}$ ביחס למשטח ובכיוון מנוגד לכיוון

תנועת הקרונית.

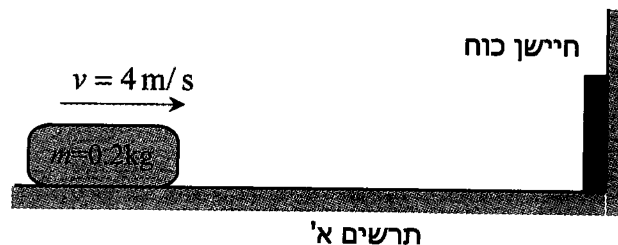
ב. חשב את מהירות הקרונית לאחר שהתלמיד זרק את הכדור.

ג. חשב את הכוח הממוצע שהתלמיד הפעיל על הכדור במהלך זריקתו, אם פעולת הזריקה נמשכה חצי שנייה.

ד. חשב את העבודה המתבצעת בתהליך זריקת הכדור.

## שאלה 18\פרק 5

תיבה שמסתה $m = 0.2\text{kg}$ נעה על משטח אופקי חלק במהירות קבועה שגודלה $v = 4\text{m/s}$. התיבה מתנגשת בחיישן כוח הממוקם בניצב למשטח (תרשים א').



תרשים א'

נתון שחיישן הכוח קבוע במקומו והתיבה מתנגשת בו בכיוון שניצב לו. בתרשים ב' מוצג הכוח שמדד החיישן (הכוח שפעל עליו) כפונקציה של הזמן. נתון שבין גרף הכוח וציר הזמן נספרו 134 משבצות קטנות.

בחר את הכיוון החיובי בכיוון תנועת התיבה לפני ההתנגשות וענה על השאלות הבאות:

א. האם התנע של התיבה נשמר במהלך ההתנגשות? הסבר את תשובתך.

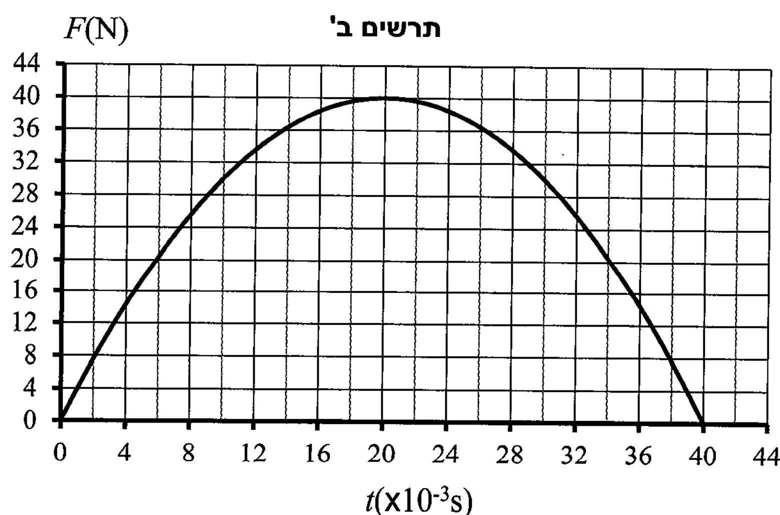
ב. חשב את המתקף (גודל וכיוון) שפעל על התיבה.

ג. חשב את הכוח הממוצע (גודל וכיוון) שהחיישן הפעיל על התיבה.

ד. חשב את גודל וכיוון מהירות התיבה לאחר התנגשותה עם החיישן.

ה. האם ההתנגשות של העגלה בחיישן היא אלסטית? הסבר את תשובתך.

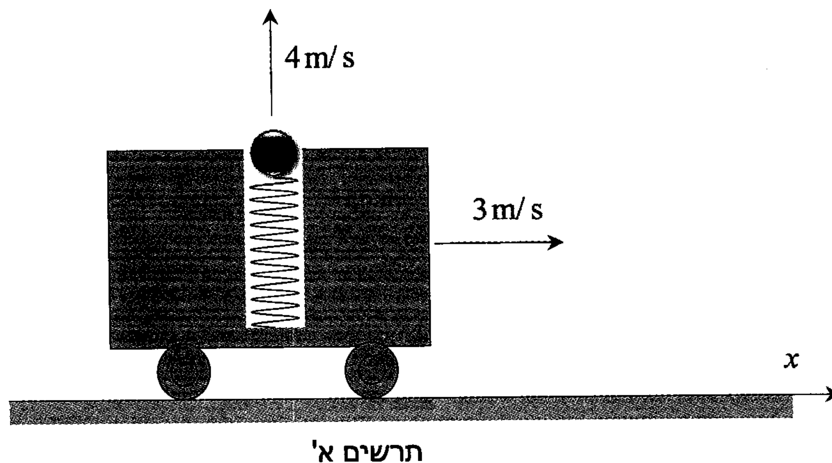
תרשים ב'



**שאלה 19\פרק 5**

עגלה שמסתה $m_1 = 1\text{kg}$ נעה במהירות קבועה על משטח אופקי חלק במהירות קבועה שגודלה $3\text{m/s}$. בתוך העגלה מוצבת ארובה אנכית, ובתוכה קפיץ המחובר לתחתית הארובה. הקפיץ מכווץ ומוחזק במצב זה על ידי תפסן מיוחד. על הקפיץ מונח כדור קטן מסתו $m_2 = 0.1\text{kg}$ (ראה תרשים א').

במהלך תנועת העגלה משתחרר הקפיץ, והכדור נהדף במהירות אנכית התחלתית שגודלה $4\text{m/s}$ ביחס לעגלה כלפי מעלה.



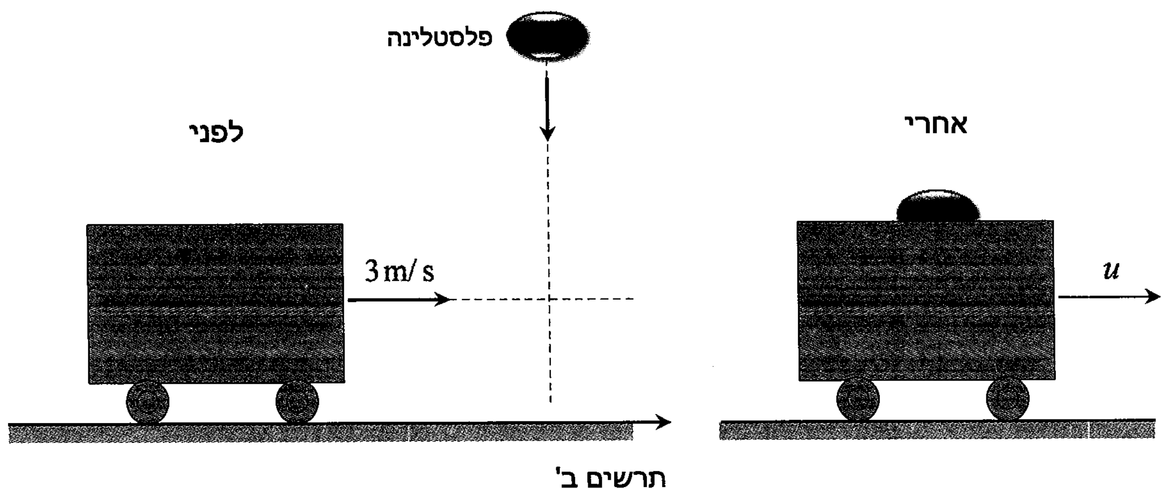

תרשים א'

א. קבע האם במערכת זו נשמר התנע בכיוון האופקי (ציר $x$)? הסבר את תשובתך.

ב. האם במערכת זו נשמר התנע בכיוון האנכי (ציר $y$)? הסבר את תשובתך.

ג. חשב את מהירות העגלה לאחר שהכדור נהדף ממנה כלפי מעלה.

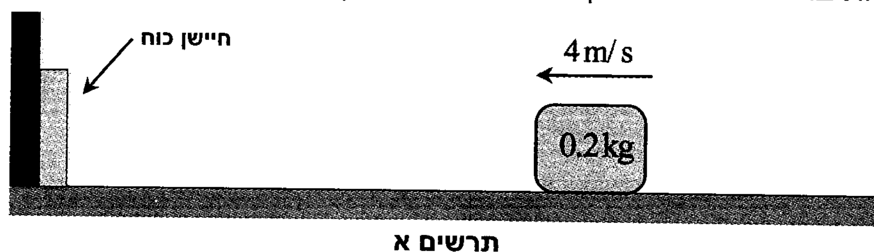
ד. במקרה אחר, גוש פלסטלינה שמסתו $m_2 = 0.2\text{kg}$, נופל בכיוון אנכי ביחס למשטח האופקי, ופוגע בעגלה הנ"ל שנוסעת על המשטח במהירות קבועה שגודלה $3\text{m/s}$ כפי שמתואר בתרשים ב' (מסת העגלה $1\text{kg}$). האם כתוצאה מכך מהירות העגלה משתנה? אם היא איננה משתנה הסבר למה, ואם היא משתנה חשב את גודלה.




תרשים ב'

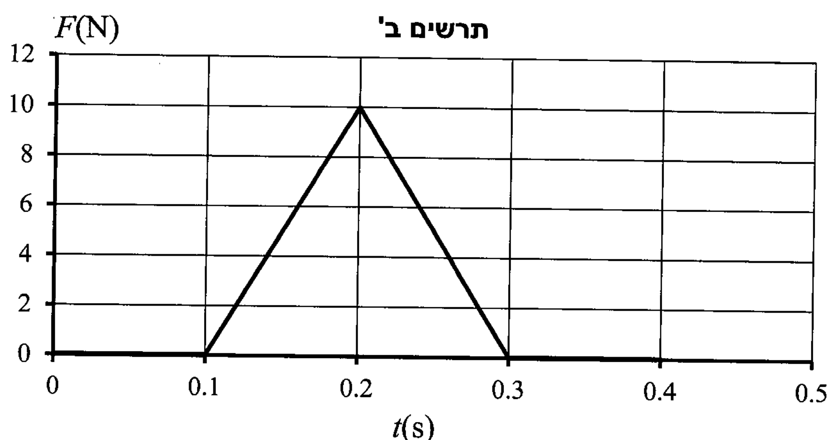
**שאלה 20\פרק 5**

תיבה שמסתה $200\text{g}$ נעה במהירות קבועה של $4\text{m/s}$ על משטח אופקי חלק ומתנגשת בחיישן כוח המהודק לקיר. התיבה מתנגשת בחיישן כשמהירותה בכיוון הניצב למישורו (ראה תרשים א').




תרשים א

הגרף בתרשים ב' מתואר את קריאת חיישן הכוח כפונקציה של הזמן, החל מרגע הפעלת החיישן $(t=0)$ עד לרגע מסוים אחרי ההתנגשות.




א. התייחס לאיור בתרשים א' ולגרף בתרשים ב' וקבע מהו הכיוון החיובי שנבחר בבעיה זו, ימינה או שמאלה? הסבר את תשובתך.

ב. חשב את מרחק התיבה מהחיישן ברגע הפעלת החיישן (ברגע $t=0\text{s}$).

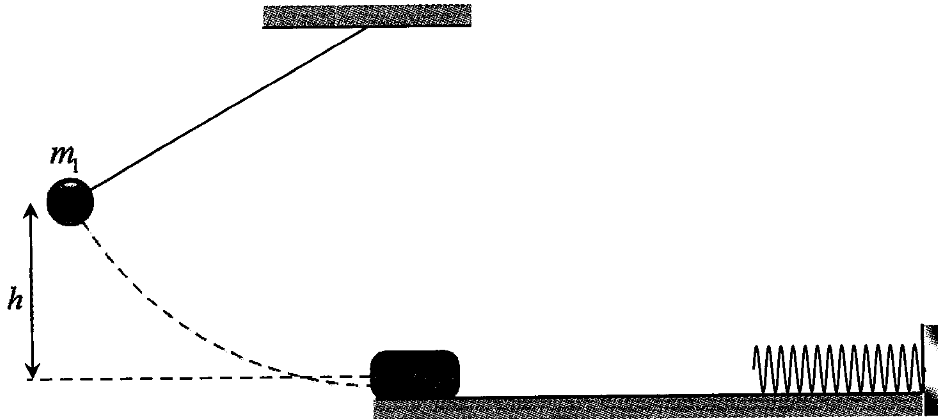
ג. שרטט גרף המתאר את הכוח שהחיישן הפעיל על התיבה כפונקציה של הזמן.

ד. חשב את מהירות התיבה (גודל וכיוון) מיד לאחר התנגשותה בחיישן הכוח.

ה. מה צריך להיות גודלו של זמן ההתנגשות (תרשים ב') על מנת שהתיבה תוחזר מהחיישן באותה המהירות שבה היא התנגשה בו? פרט את חישוביך. (הנח שצורת הגרף אינה משתנה, וגודלו של הכוח המקסימלי אינו משתנה).

**שאלה 21\פרק 5**

תולים מהתקרה כדור שמסתו $m_1=0.4\text{kg}$ באמצעות חוט שמסתו זניחה. מסיטים את הכדור הצידה עד לגובה $h=45\text{cm}$ ביחס לגובה ההתחלתי, ומשחררים אותו ממנוחה. הכדור נע ומתנגש בתחתית מסלולו בתיבה שמסתה $m_2=0.6\text{kg}$, הנמצאת במנוחה על משטח אופקי חלק. כתוצאה מההתנגשות, התיבה נעה על המשטח החלק במהירות קבועה עד להתנגשותה בקצה קפיץ שקבוע הקפיץ שלו $k=60\text{N/m}$. קצהו השני של הקפיץ מחובר לקיר הניצב למשטח (ראה תרשים). כתוצאה מההתנגשות הקפיץ מתכווץ, ולאחר מכן התיבה מוחזרת ממנו.




נתון כי ההתנגשות בין הכדור לתיבה היא אלסטית לחלוטין.

א. חשב את מהירות הכדור ברגע פגיעתו בתיבה.

ב. חשב את המהירויות של התיבה ושל הכדור מיד לאחר ההתנגשות.

ג. חשב את ההתכווצות המקסימלית של הקפיץ.

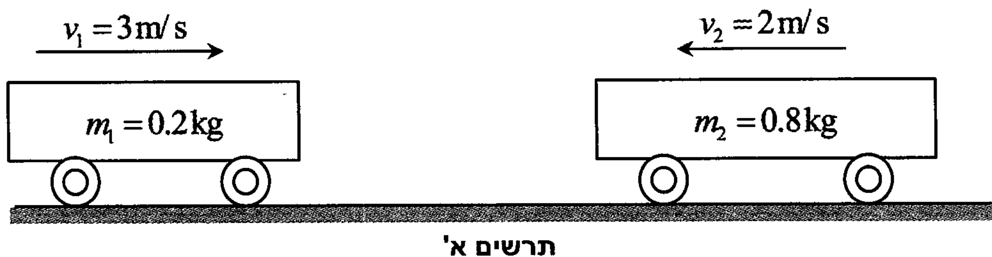
ד. חשב את המתקף שהקפיץ הפעיל על התיבה מהרגע שבו התיבה התנגשה בו עד לרגע שבו התיבה התנתקה ממנו.

ה. חשב את העבודה שהקפיץ מבציע על התיבה מהרגע שבו התיבה התנגשה בו עד לרגע שבו התיבה התנתקה ממנו.

## שאלה 22\פרק 5

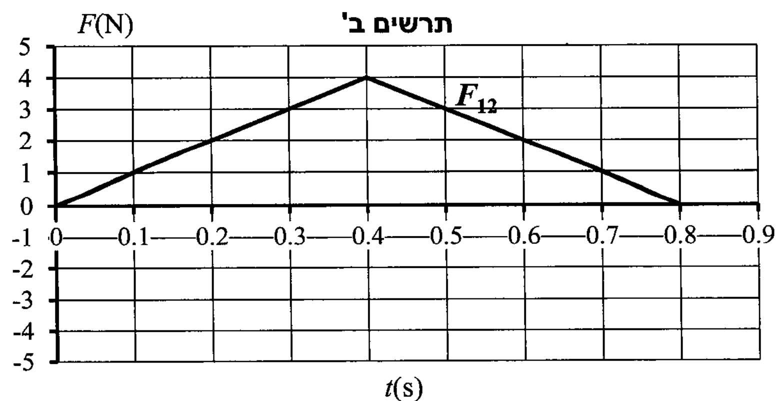
שתי עגלות 1 ו-2 נעות לאורך קו ישר זו לקראת זו כפי שמתואר בתרשים א' ומתנגשות התנגשות חזיתית.

הגרף המוצג בתרשים ב' מתאר את הכוח $F_{12}$ שעגלה 1 מפעילה על עגלה 2 במהלך ההתנגשות, כפונקציה של הזמן. הכיוון החיובי נבחר להיות בכיוון ימין.




תרשים א'

תרשים ב'



נתון שמסת עגלה 1 היא $m_1 = 0.2\text{kg}$ ומהירותה לפני ההתנגשות היא $v_1 = 3\text{m/s}$ הכיוון החיובי, ושמסת עגלה 2 היא $m_2 = 0.8\text{kg}$ ומהירותה לפני ההתנגשות היא $v_2 = 2\text{m/s}$ בכיוון השלילי (ראה תרשים א').

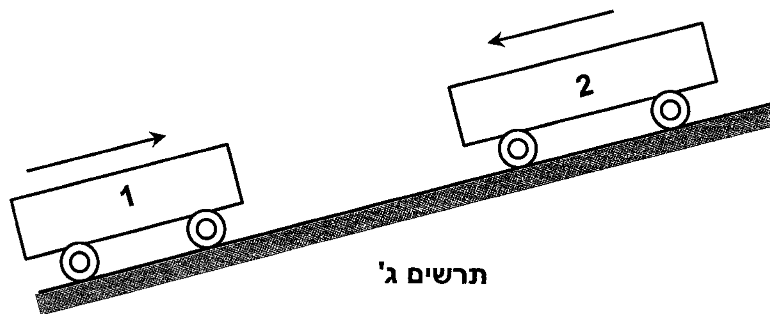
א. שרטט (במערכת הצירים הנתונה בתרשים ב') גרף המתאר את הכוח שעגלה 2 הפעילה על עגלה 1 (הכוח $F_{21}$) במהלך ההתנגשות.

ב. חשב את המהירות של כל אחת משתי העגלות מיד לאחר ההתנגשות.

ג. קבע האם ההתנגשות היא אלסטית לחלוטין.

ד. שרטט באותה מערכת צירים גרפים המתארים את תאוצת כל אחת משתי העגלות כפונקציה של הזמן.

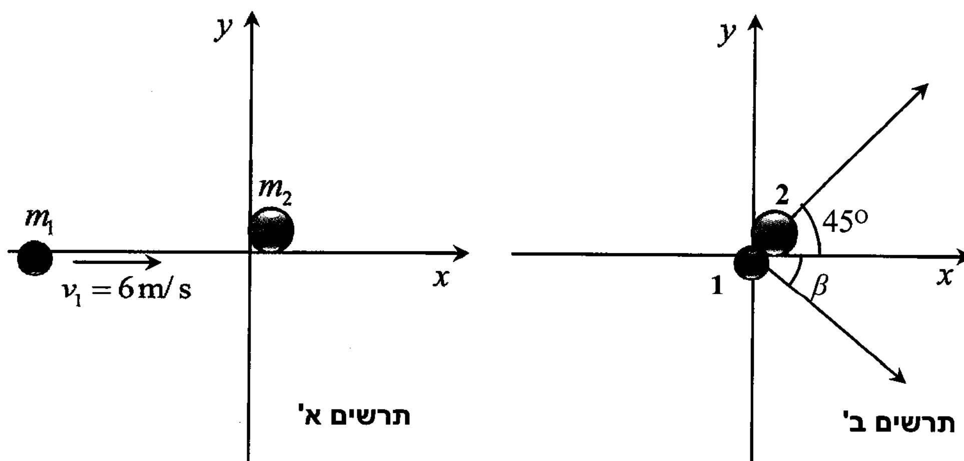
ה. נניח כעת כי שתי העגלות מתנגשות על מישור משופע כפי שמתואר בתרשים ג'. האם מתקיים במקרה זה חוק שימור התנע? הסבר את תשובתך.




תרשים ג'

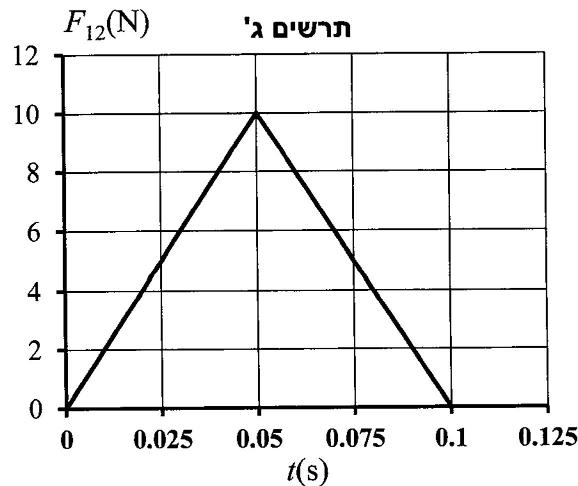
**שאלה 23\פרק 5**

נתונים שני כדורים. כדור 1 שמסתו $m_1 = 200\text{g}$ וכדור 2 שמסתו $m_2 = 250\text{g}$. מניחים את שני הכדורים על שולחן אופקי חלק, ומקנים לכדור 1 מהירות של $v_1 = 6\text{m/s}$ (ראה תרשים א'). כדור זה מתנגש בכדור 2 הנמצא במנוחה. כתוצאה מההתנגשות, כדור 2 מתחיל לנוע בכיוון היוצר זווית של $45^\circ$ ביחס לכיוון תנועת כדור 1 לפני ההתנגשות (ראה תרשים ב'). כדור 1 נע אחרי ההתנגשות בכיוון שיוצר זווית $\beta$ ביחס לכיוון התנועה שלו לפני ההתנגשות (ראה תרשים ב').




תרשים א'                                   תרשים ב'

בתרשים ג' מתואר הכוח שכדור 1 הפעיל על כדור 2 במהלך ההתנגשות ($F_{12}$).




בוחרים ציר $x$ בכיוון תנועת הכדור 1 לפני ההתנגשות ואת כיוונו החיובי בכיוון המהירות, וציר $y$ המקביל למשטח ומאונך לציר $x$. ראשית הצירים היא נקודת ההתנגשות.

א. חשב את גודל וכיוון התנע השקול של שני הכדורים לאחר ההתנגשות.

ב. קבע מהו כיוון הכוח שכדור 1 הפעיל על כדור 2 במהלך ההתנגשות.

ג. חשב את גודל וכיוון מהירות כדור 2 לאחר ההתנגשות.

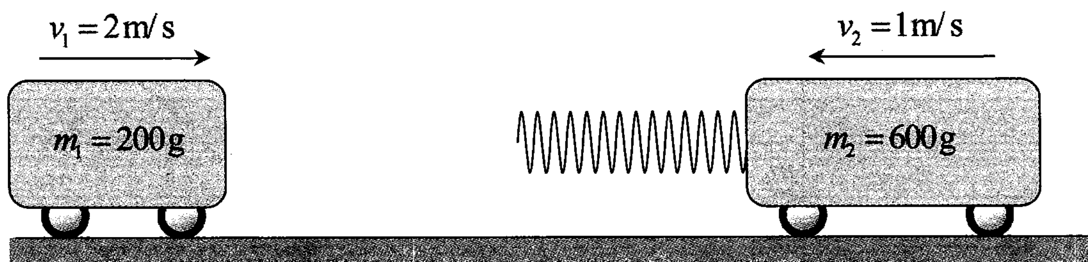
ד. קבע מהו כיוון הכוח שכדור 2 הפעיל על כדור 1 במהלך ההתנגשות.

ה. חשב את גודל וכיוון המהירות של כדור 1 לאחר ההתנגשות.

## שאלה 24\פרק 5

שתי עגלות 1 ו-2 נעות זו לקראת זו על משטח אופקי חלק. לאחת העגלות (עגלה 2) מוצמד קפיץ המכוון לאורך קו תנועת העגלות כמתואר בתרשים שלפניך. העגלות מתנגשות התנגשות חזיתית, כשהקפיץ מתכווץ ומפריד בין שתי העגלות במהלך ההתנגשות.

נתון שמסת עגלה 1 היא $m_1 = 200\text{g}$ ומהירותה לפני ההתנגשות $v_1 = 2\text{m/s}$ ימינה (ראה תרשים), ושמסת עגלה 2 היא $m_2 = 600\text{g}$ ומהירותה לפני ההתנגשות $v_2 = 1\text{m/s}$ שמאלה. קבוע הקפיץ $k = 135\text{N/m}$.




נתון גם שבמהלך ההתנגשות הקפיץ אינו מאבד את האלסטיות שלו.

א. קבע מהו סוג ההתנגשות המתרחשת בין שתי העגלות.

ב. חשב את המהירות של כל אחת משתי העגלות מיד לאחר ההתנגשות.

ג. במהלך ההתנגשות, ישנו רגע שבו מהירויות שתי העגלות משתוות. חשב מהירות זו.

ד. חשב את שיעור ההתכווצות המקסימלית של הקפיץ במהלך ההתנגשות.

ה. תלמיד טוען שגודל השינוי בתנע של עגלה 1 כתוצאה מההתנגשות גדול פי שלושה מהשינוי בתנע של עגלה 2 ומנוגד לו בכיוון. קבע אם טענה זו נכונה או לא. הסבר את תשובתך.

ו. אותו תלמיד טוען גם שגודל השינוי במהירות של עגלה 1 כתוצאה מההתנגשות גדול פי שלושה מהשינוי במהירות של עגלה 2 ומנוגד לו בכיוון. קבע אם טענה זו נכונה או לא. הסבר את תשובתך.

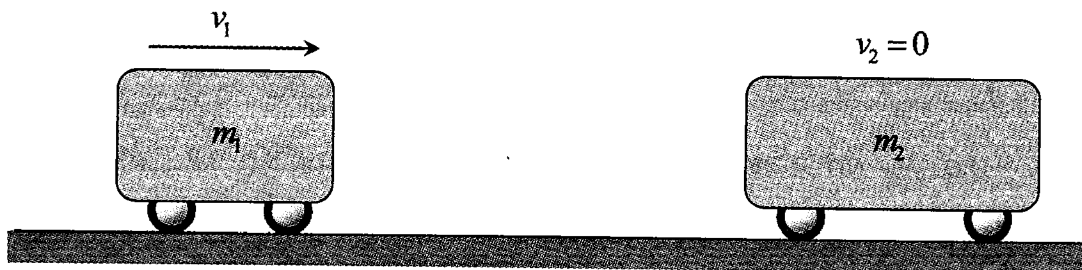
**שאלה 25\פרק 5**

עגלה 1 נעה על משטח אופקי חלק במהירות קבועה שגודלה $v_1$, ומתנגשת התנגשות חזיתית אלסטית לחלוטין בעגלה 2 הנמצאת במנוחה על המשטח (ראה תרשים).

נתון שמסת העגלה 1 היא $m_1$ ומסת העגלה 2 היא $m_2$. בחר בכיוון החיובי ימינה וענה על השאלות הבאות:

א. רשום את חוקי השימור בהתנגשות אלסטית לחלוטין, והראה שמתקיים הקשר הבא:

$u_1 = \left(\frac{m_1 - m_2}{2m_1}\right)u_2$, כאשר $u_1$ ו- $u_2$ הן מהירויות העגלות 1 ו-2 לאחר ההתנגשות, בהתאמה.




ב. על פי הקשר שקיבלת בסעיף הקודם, קבע מתי:

(1) שתי העגלות נעות אחרי ההתנגשות בכיוונים מנוגדים.

(2) שתי העגלות נעות אחרי ההתנגשות באותו כיוון.

ג. הראה שמתקיים הקשר הבא בין מהירות עגלה 2 אחרי ההתנגשות, $u_2$, ובין מהירות עגלה 1 לפני ההתנגשות, $v_1$: $u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}v_1$.

ד. התייחס לביטוי שקיבלת בסעיף הקודם קבע מתי:

(1) מתקיים $u_2 = v_1$. חשב את $u_1$ במקרה זה.

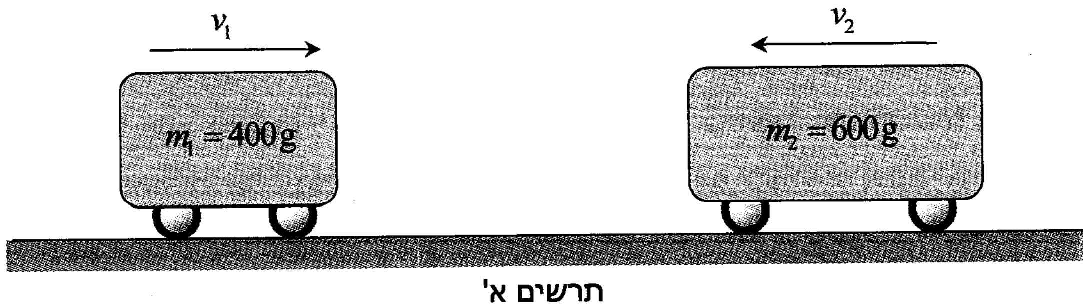
(2) $u_2 > v_1$.

**שאלה 26\פרק 5**

שתי עגלות 1 ו-2 נעות לאורך אותו קו ישר על משטח אופקי חלק, זו לקראת זו, ומתנגשות התנגשות חזיתית (ראה תרשים א).

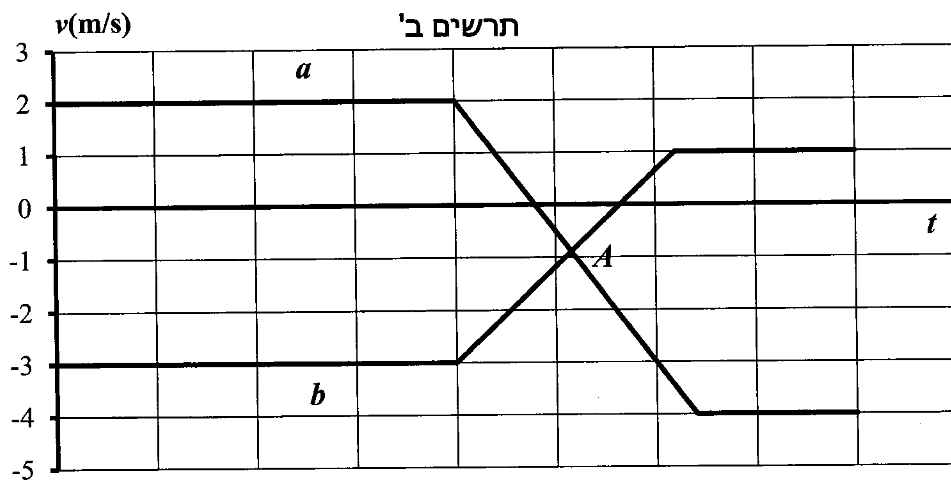
הגרף שלפניך (תרשים ב) מתאר את המהירות של כל אחת משתי העגלות כפונקציה של הזמן, לפני,

במהלך ואחרי ההתנגשות. הכיוון החיובי בתרחיש זה נבחר ימינה.




תרשים א'

נתון: מסת העגלה 1 היא $m_1 = 400g$, ומסת העגלה 2 היא $m_2 = 600g$.




תרשים ב'

א. קבע איזה מבין שני הגרפים המוצגים בתרשים ב' מתאר את מהירותה של עגלה 1, ואיזה מהם מתאר את מהירותה של עגלה 2. הסבר את תשובתך.

ב. הראה, על סמך תרשים ב', שהתנע נשמר בהתנגשות זו.

ג. הראה, על סמך תרשים ב', שההתנגשות בין שתי העגלות היא אלסטית לחלוטין.

ד. שני הגרפים של המהירויות נחתכים בנקודה $A$. חשב את המהירויות של העגלות בנקודה זו. אל תסתמך על הגרף בחישוב המהירויות.

ה. חשב את היחס בין שיפועי הגרפים של המהירות במהלך ההתנגשות. פרט את חישוביך.

### שאלה 27\פרק 5

שני כדורים 1 ו-2 נעים על משטח אופקי חלק, ומתנגשים זה בזה. בתרשים הבא מתוארים וקטורי התנע של שני הכדורים לפני ההתנגשות: $\vec{P}_1$ ו-$\vec{P}_1$ וגם וקטור התנע של כדור 1 אחרי ההתנגשות: $\vec{P}_1'$.
נתון שאורך הצלע של כל ריבוע בתרשים מייצג תנע שגודלו $1\text{kg m/s}$. נתון גם כי זמן ההתנגשות בין שני הכדורים הוא $0.1s$.

א. חשב, במערכת הצירים $xy$ המוצגת בתרשים, את רכיבי התנע השקול של שני הכדורים אחרי ההתנגשות.

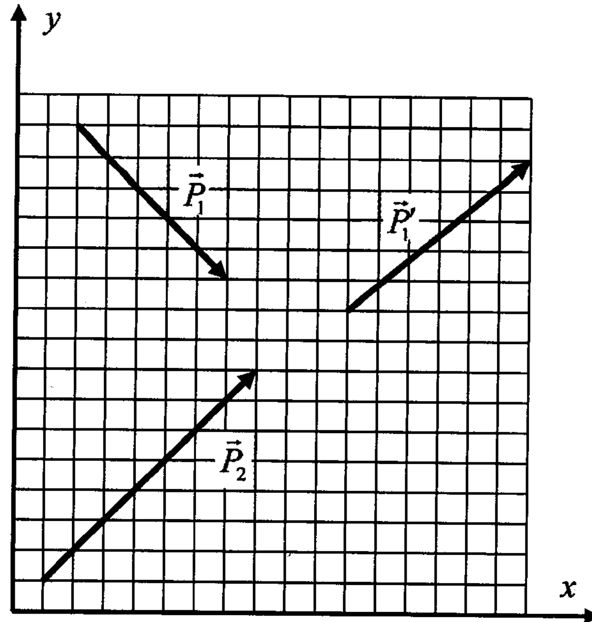
ב. חשב את רכיבי המתקף שפעל על כל אחד משני הכדורים במערכת צירים זו.

ג. חשב את רכיבי הכוח שפעל על כל אחד משני הכדורים. עבוד באותה מערכת צירים.

ד. חשב את רכיבי התנע של כדור 2 אחרי ההתנגשות: $P'_{2x}$ ו- $P'_{2y}$. השב על סעיף זה בשתי הגישות הבאות:

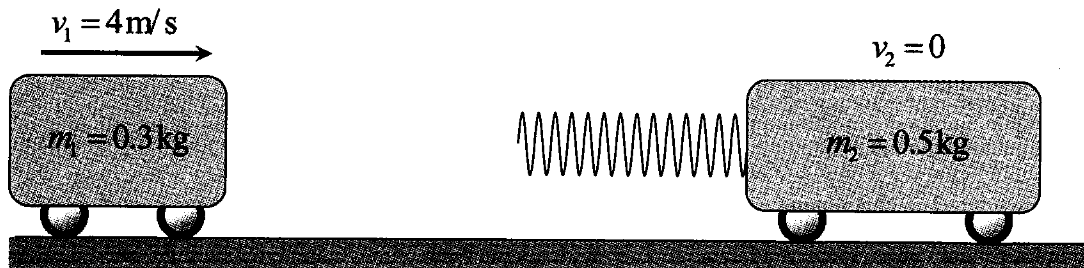
(1) על ידי המתקף שפועל על כדור 2 במהלך ההתנגשות.

(2) על ידי שימוש בחוק שימור התנע.




**שאלה 28\פרק 5**

עגלה 1 נעה על משטח אופקי במהירות קבועה של $v_1 = 4\,\text{m/s}$, ומתנגשת התנגשות חזיתית בקפיץ אופקי הצמוד לעגלה 2 הנמצאת על המשטח במנוחה (ראה תרשים).




נתון: מסת העגלה 1 היא $0.3\text{kg}$, מסת העגלה 2 היא $m_2 = 0.5\text{kg}$ וקבוע הקפיץ הוא $k = 660\,\text{N/m}$. הקפיץ אינו מאבד את האלסטיות שלו במהלך ההתנגשות.

א. חשב את מהירות כל אחת משתי העגלות אחרי ההתנגשות.

ב. קבע אם הכוח שמפעיל הקפיץ על עגלה 1 קטן, שווה או גדול מהכוח שהוא מפעיל על עגלה 2. נמק.

ג. חשב את גודלו של הכוח המרבי שהקפיץ מפעיל על כל אחת משתי העגלות במהלך ההתנגשות.

ד. חשב את גודלו וכיוונו של המתקף שהקפיץ הפעיל על כל אחת משתי העגלות במהלך ההתנגשות.

ה. חשב את העבודה שהקפיץ מבציע על כל אחת משתי העגלות במהלך ההתנגשות.

**שאלה 29\פרק 5**

כדור שמסתו $m=0.4\text{kg}$ נופל על משטח אופקי מגובה $h_1=5\text{m}$. הכדור מתנגש במשטח ומוחזר ממנו עד לגובה של $1.25\text{m}$. התנגדות האוויר זניחה.

א. חשב את השינוי באנרגיה המכנית של הכדור כתוצאה מההתנגשות.

ב. חשב את המתקף (גודל וכיוון) שהמשטח הפעיל על הכדור במהלך ההתנגשות.

ג. חשב את הכוח הממוצע שהמשטח הפעיל על הכדור במהלך ההתנגשות אם ידוע שזמן ההתנגשות עם הקרקע הוא $0.1\text{s}$.

ד. במקרה אחר הכדור מתנגש במשטח ונצמד אליו. חשב את הכוח הממוצע שהמשטח הפעיל על הכדור במהלך ההתנגשות במקרה זה, אם נתון שזמן ההתנגשות הוא $0.1\text{s}$.

ה. קבע באיזה מקרה המשטח מפעיל על הכדור כוח ממוצע מקסימלי. חשב כוח ממוצע זה אם נתון שזמן ההתנגשות $0.1\text{s}$.

# פתרונות שאלות פרק 5 - מתקף ותנע

**פתרון שאלה 1\פרק 5**

א. נשתמש בחוק שימור האנרגיה עבור הגוף 2 הנע בין הנקודות $a$ ו-$b$, על פי המופיע בתרשים א' שבשאלה (שים לב! עבור הגוף 2 מתקיים חוק שימור האנרגיה מאחר ו-$m_2g$ הוא כוח משמר וכוח המתיחות בחוט לא מבצע עבודה):

$$m_2gh_b+\tfrac{1}{2}m_2v_b^2=m_2gh_a+\tfrac{1}{2}m_2v_a^2$$

נבחר מישור הייחוס פני השולחן ונקבל:

$$m_2g\ell(1-\cos 60)+0=0+\tfrac{1}{2}m_2v_a^2$$

$$\Rightarrow v_b=\sqrt{2g\ell(1-\cos 60)}=$$

$$=\sqrt{20(1.6)(1-\cos 60)}=4\,\mathrm{m/s}$$

מהירות זו מסומנת ב-$v_2$. כלומר: $v_2=4\,\mathrm{m/s}$.

ב. נחשב קודם את זמן המעוף של גוף 1 מרגע ההתנגשות עד לפגיעה בקרקע. נבחר את הכיוון החיובי של ציר $y$ כלפי מטה ואת $y=0$ בקצה העליון של השולחן ונקבל: $y=y_0+v_{0y}t+\tfrac{1}{2}at^2$, כאשר $y_0=0$, $v_{0y}=0$, $a=10\,\mathrm{m/s^2}$ ו-$y=1.25\,\mathrm{m}$. נציב ונקבל:

$$1.25=0+0+5t^2\quad\Rightarrow t=0.5\,\mathrm{s}$$

בכיוון אופקי נקבל:

$$x=u_1t$$

$$\Rightarrow 0.6=u_1(0.5)\ \Rightarrow u_1=1.2\,\mathrm{m/s}$$

ג. נשתמש בחוק שימור התנע על מנת לחשב את המהירות של גוף 2 מיד לאחר ההתנגשות:

$$m_2u_2+m_1u_1=m_2v_2+m_1v_1$$

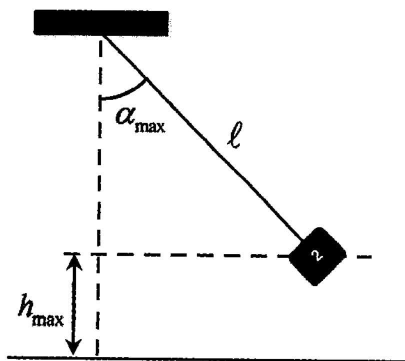
$$\Rightarrow 0.8u_2+2(1.2)=0.8(4)+0\ \Rightarrow u_2=1\,\mathrm{m/s}$$

ד. ניעזר בחוק שימור האנרגיה ונחשב את הגובה המקסימלי אליו מגיע הגוף 2 לאחר ההתנגשות:

$$\tfrac{1}{2}m_2u_2^2=m_2gh_{max}$$

$$\Rightarrow h_{max}=u_2^2/2g=0.05\,\mathrm{m}$$

מתקיים (ראה תרשים):




$$\cos\alpha_{max}=\frac{\ell-h_{max}}{\ell}=\frac{1.6-0.05}{1.6}$$

$$\Rightarrow \alpha_{max}=14.43^\circ$$

ה. אם ההתנגשות אלסטית לחלוטין מתקיימות שתי המשוואות:

$$\begin{cases}m_1v_1+m_2v_2=m_1u_1+m_2u_2\\ u_1+v_1=u_2+v_2\end{cases}$$

נציב ונקבל:

$$\begin{cases}0+0.8(4)=2u_1+0.8u_2\\ u_1+0=u_2+4\end{cases}$$

נציב $u_2$ ממשוואה השנייה במשוואה הראשונה ונקבל:

$$3.2=2u_1+0.8(u_1-4)$$

$$2.8u_1=6.4$$

$$\Rightarrow u_1=2\tfrac{2}{7}\,\mathrm{m/s}$$

$$\Rightarrow x=u_1t=(2\tfrac{2}{7})(0.5)=1\tfrac{1}{7}\,\mathrm{m}$$

**פתרון שאלה 2\פרק 5**

א. על פי חוק שימור התנע מתקיים שהתנע הכולל של שתי הדיסקיות לפני ההתנגשות (שהוא בעצם התנע של דיסקית 1 בלבד, כי דיסקית 2 הייתה במנוחה), שווה לתנע הכולל שלהן לאחר ההתנגשות. מעיון בתרשים נקבל: התנע הכולל של שתי הדיסקיות בכיוון ציר $x$

לאחר ההתנגשות הוא:

$$4\times0.2+5\times0.2=1.8\,\text{kg m/s}$$

התנע הכולל של שתי הדיסקיות בכיוון ציר $y$ לאחר ההתנגשות הוא:

$$3\times(-0.2)+3\times0.2=0$$

לכן התנע של הדיסקית 1 לפני ההתנגשות הוא $1.8\,\text{kg m/s}$ בכיוון החיובי של ציר $x$.

ב. על סמך הסעיף הקודם נקבל:

$$\begin{cases} m_1v_{1y}=0 \\ m_1v_{1x}=1.8 \end{cases}$$

כאשר $m_1=0.2\,\text{kg}$. משתי המשוואות האחרונות נקבל: $v_{1y}=0$ ו-$v_{1x}=9\,\text{m/s}$.

ג. נשתמש בקשר: $\vec{J}_{12}=\vec{P}_{2f}-\vec{P}_{2i}$, כאשר $\vec{J}_{12}$ הוא המתקף שדיסקית 1 הפעילה על דיסקית 2, $\vec{P}_{2f}$ הוא התנע הסופי של דיסקית 2, ו-$\vec{P}_{2i}$ הוא התנע ההתחלתי של הדיסקית 2, והאותיות $i$ ו-$f$ מציינות את המלים הלועזיות: *initial* ו-*final* בהתאמה. מהקשר האחרון נקבל:

$$\begin{cases} 1.\ (J_{12})_x=(P_{2f})_x-(P_{2i})_x \\ 2.\ (J_{12})_y=(P_{2f})_y-(P_{2i})_y \end{cases}$$

ממשוואה 1 נקבל:

$$(J_{12})_x=4\times0.2-0=0.8\,\text{Ns}$$

וממשוואה 2 נקבל:

$$(J_{12})_y=3(-0.2)-0=-0.6\,\text{Ns}$$

מכאן נקבל שגודל המתקף שפעל על דיסקית 2 הוא:

$$J_{12}=\sqrt{0.8^2+0.6^2}=1\,\text{Ns}$$

ושכיוונו

$$\tan\alpha=-0.6/0.8\quad\Rightarrow\alpha=-36.87^\circ$$

ד. מתקיים: $\vec{J}_{21}=-\vec{J}_{12}$. לכן גודל המתקף שדיסקית 2 הפעילה על דיסקית 1 הוא $1\text{Ns}$ בכיוון $143.13^\circ$ ביחס לכיוון החיובי של ציר $x$.

ה. מתקיים: $\bar{\vec{F}}=\vec{J}/\Delta t$, כאשר הסימן $\bar{F}$ מציין את הכוח הממוצע. לכן גודל הכוחות שהדיסקיות מפעילות זו על זו הוא:

$$\bar{F}=1/0.2=5\,\text{N}$$

כיוון כוחות אלה הוא בכיוון המתקפים שפעלו על הדיסקיות.

## פתרון שאלה 3\פרק 5

הכיוון החיובי שנבחר בבעיה זו הוא בכיוון תנועת הבול לאחר ההתנגשות, וזאת משום שעל פי הגרף סימן מהירותו חיובי.

א. מתקיים הקשר: $J_{12}=F\Delta t=Mu_2-Mv_2$, כש-$J_{12}$ הוא המתקף שהקליע הפעיל על בול העץ. $\Delta t$ הוא זמן ההתנגשות, והוא לפי הגרף $0.001\text{s}$, $v_2$ היא המהירות בול העץ לפני ההתנגשות - ולפי הגרף היא אפס, ו-$u_2$ היא מהירות בול העץ לאחר ההתנגשות ולפי הגרף גודלה $4\,\text{m/s}$. נציב ונקבל:

$$F(0.001)=4(4)-0$$
$$\Rightarrow F=16{,}000\,\text{N}$$

בכיוון החיובי של הציר.

ב. הבול הפעיל על הקליע כוח שגודלו $16{,}000\,\text{N}$ בכיוון השלילי.

ג. מכיוון שהכוחות שפועלים על הקליע ועל בול העץ הם כוחות פעולה ותגובה, הם שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם (כלומר המערכת סגורה) , חוק שימור התנע מתקיים.

ד. השינוי בתנע של בול העץ הוא:

$$\Delta P_2=Mu_2-Mv_2=4(4)-0=+16\,\text{kg m/s}$$

השינוי בתנע של הקליע שווה בגודל ומנוגד

בכיוונו לשינוי בתנע של הבול, כלומר:

$$\Delta P_1 = -16\,\text{kg m/s}$$

ה. נשתמש בקשר $\Delta P_1 = -16\,\text{kg m/s}$ עבור הקליע, ונקבל:

$$mu_1 - mv_1 = -16\,\text{kg m/s}$$
$$\Rightarrow 0.04u_1 - 0.04(600) = -16$$
$$\Rightarrow u_1 = 200\,\text{m/s}$$

ו.

$$a = \frac{F}{m} = \frac{-16{,}000}{40/1000} = -400{,}000\,\text{m/s}^2$$

**<u>פתרון חלופי:</u>**

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{u_1 - v_1}{\Delta t} = \frac{200-600}{0.001} =$$
$$= -400{,}000\,\text{m/s}^2$$

ז. אם הקליע לא יוצא מבול העץ, ההתנגשות תהיה פלסטית. במקרה זה בול העץ והקליע יגיעו למהירות סופית משותפת $u$ המקיימת:

$$(M+m)u = mv_1 + Mv_2$$
$$\Rightarrow u = \frac{mv_1 + 0}{m+M} = \frac{\frac{40}{1000}(600)}{\frac{40}{1000}+4} = 5.94\,\text{m/s}$$

הדרך שעובר הקליע עד שהוא מגיע למהירות זו היא:

$$\Delta x = \frac{u_1^2 - v_1^2}{2a} = \frac{5.94^2 - 600^2}{2(-400{,}000)} = 0.45\,\text{m}$$

על מנת שהקליע לא יוכל לצאת מבול העץ, צריך להתקיים ש:

$$L \ge \Delta x \quad \Rightarrow L_{\min} = 0.45\,\text{m}$$

**פתרון שאלה 4\פרק 5**

א. האנרגיה הקינטית של המערכת רגע לפני ההתנגשות נתונה על ידי:

$$E_{K1} = \tfrac{1}{2}m_1v_1^2 + 0$$

כאשר $v_1$ היא מהירות הכדור 1 רגע לפני ההתנגשות.

האנרגיה הקינטית של המערכת רגע לאחר ההתנגשות היא:

$$E_{K2} = \tfrac{1}{2}(m_1+m_2)u^2$$

כאשר $u$ היא המהירות המשותפת של שני הכדורים מיד לאחר ההתנגשות.

משימור האנרגיה מתקיים עבור הכדור הראשון:

$$\tfrac{1}{2}m_1v_1^2 = m_1gh_1$$

עבור שני הכדורים אחרי ההתנגשות:

$$\tfrac{1}{2}(m_1+m_2)u^2 = (m_1+m_2)gh_2$$

מכאן נקבל:

$$\frac{E_{K2}}{E_{K1}} = \frac{(m_1+m_2)h_2}{m_1h_1} = \left(1+\frac{m_2}{m_1}\right)\frac{h_2}{h_1}$$

ב. ההפסד הוא:

$$E_{K1} - E_{K2} = m_1gh_1 - (m_1+m_2)gh_2 =$$
$$= m_1g(h_1-h_2) - m_2gh_2$$

ג. נשתמש קודם בשימור התנע:

$$(m_1+m_2)u = m_1v_1 + 0$$
$$\Rightarrow \ (1)\ u = \frac{m_1v_1}{m_1+m_2}$$

כאשר $v_1$ היא מהירות הכדור 1 רגע לפני ההתנגשות, ו-$u$ היא המהירות המשותפת של שני הכדורים מיד לאחר ההתנגשות.

משימור האנרגיה עבור הכדור הראשון מתקבל:

$$\tfrac{1}{2}m_1v_1^2 = m_1gh_1 \quad \Rightarrow v_1 = \sqrt{2gh_1}$$

נציב $v_1$ במשוואה (1) ונקבל:

$$u = \frac{m_1\sqrt{2gh_1}}{m_1+m_2} \qquad (2)$$

מצד שני, מחוק שימור האנרגיה עבור שני הכדורים בתנועתם, אחרי ההתנגשות, בין הנקודה הנמוכה ביותר והנקודה הגבוהה

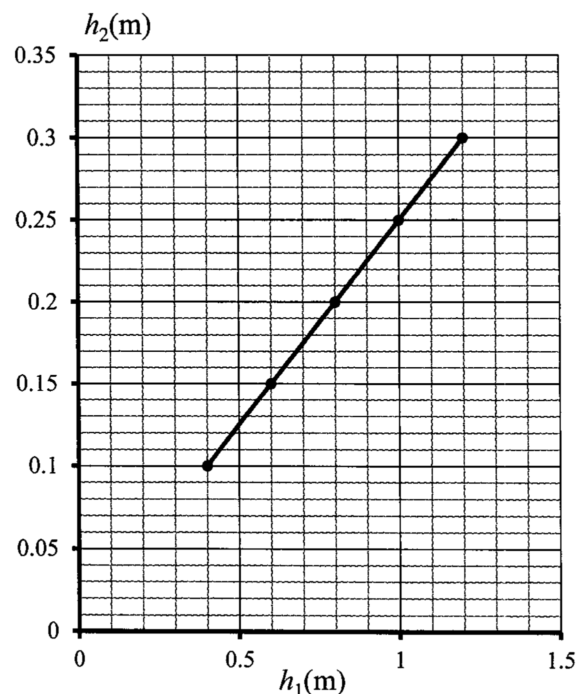
ביותר נקבל:

$$\tfrac{1}{2}(m_1+m_2)u^2=(m_1+m_2)gh_2$$
$$\Rightarrow u=\sqrt{2gh_2}$$

נציב $u$ מהביטוי האחרון במשוואה (2) ונקבל:

$$\sqrt{2gh_2}=\frac{m_1\sqrt{2gh_1}}{m_1+m_2}$$
$$\Rightarrow 2gh_2=\left(\frac{m_1\sqrt{2gh_1}}{m_1+m_2}\right)^2$$
$$\Rightarrow h_2=\left(\frac{m_1}{m_1+m_2}\right)^2 h_1=\left(\frac{1}{1+m_2/m_1}\right)^2 h_1$$

ד.




ה. שיפוע הגרף שווה ל-0.25 ולפי הקשר מהסעיף הקודם, השיפוע נתון על ידי הביטוי: $\left(\frac{1}{1+m_2/m_1}\right)^2$. מכאן נקבל:

$$\left(\frac{1}{1+m_2/m_1}\right)^2=0.25$$
$$\Rightarrow \frac{1}{1+m_2/m_1}=0.5$$
$$\Rightarrow \frac{m_2}{m_1}=1$$

## פתרון שאלה 5\פרק 5

א. הדיסקית 2 הייתה במנוחה לפני ההתנגשות, ולאחר ההתנגשות היא נעה, על פי התרשים שמופיע בשאלה, בכיוון ציר $y$, לכן כיוון תאוצתה הוא בכיוון ציר $y$. לפי החוק השני של ניוטון, כיוון הכוח השקול הוא בכיוון התאוצה. מכאן שכיוון הכוח שדיסקית 1 הפעילה על דיסקית 2 במהלך ההתנגשות הוא בכיוון החיובי של ציר $y$.

ב. כיוון הכוח, ולכן גם כיוון המתקף, שכדור 1 הפעיל על כדור 2 הוא בכיוון החיובי של ציר $y$. גודל המתקף שווה לשטח הכלוא בין גרף הכוח $F_{12}$ ובין ציר הזמן:

$$J_{12}=\frac{40\times 0.1}{2}=2\,\text{Ns}$$

ג. $J_{21}=2\,\text{Ns}$ בכיוון השלילי של ציר $y$.

ד. מתקיים בכיוון ציר $x$:

$$J_{12x}=m_2u_{2x}-m_2v_{2x}=0$$
$$\Rightarrow 0=m_2u_{2x}-0$$
$$\Rightarrow u_{2x}=0$$

ובכיוון ציר $y$:

$$J_{12y}=m_2u_{2y}-m_2v_{2y}$$
$$\Rightarrow 2=0.2u_{2y}-0$$
$$\Rightarrow u_{2x}=10\,\text{m/s}$$

ה. קיימות שתי גישות.

הראשונה: נשתמש עבור הכדור 1 בקשר: $\vec{J}_{21}=m_1\vec{u}_1-m_1\vec{v}_1$. מקשר זה נקבל:

$$J_{21x}=m_1u_{1x}-m_1v_{1x}$$
$$\Rightarrow 0=m_1u_{1x}-m_1v_{1x}$$
$$\Rightarrow u_{1x}=v_{1x}=6\,\text{m/s}$$

בכיוון ציר $y$ נקבל:

$$J_{21y}=m_1u_{1y}-m_1v_{1y}=-2$$
$$\Rightarrow -2=0.4u_{1y}-0$$
$$\Rightarrow u_{1y}=-5\,\text{m/s}$$

לכן:

$u_1 = \sqrt{6^2 + 5^2} = 7.81\,\text{m/s}$

$\tan\alpha = -5/6 \quad \Rightarrow \alpha = -39.8^\circ$

הגישה השנייה היא שימוש בחוק שימור התנע:

$x: \quad m_1u_{1x} + m_2u_{2x} = m_1v_{1x} + m_2v_{2x}$

$\Rightarrow m_1u_{1x} + 0 = m_1v_{1x} + 0$

$\Rightarrow u_{1x} = v_{1x} = 6\,\text{m/s}$

$y: \quad m_1u_{1y} + m_2u_{2y} = m_1v_{1y} + m_2v_{2y}$

$\Rightarrow 0.4u_{1y} + 0.2(10) = 0 + 0$

$\Rightarrow u_{1y} = -5\,\text{m/s}$

**פתרון שאלה 6\פרק 5**

א. במהלך ההתנגשות, העגלה $A$ אמורה לנוע בתאוטה בכיוון שמאל, ולאחר מכן בתאוצה ימינה. לכן, בפרק הזמן $0.01 \le t < 0.02\text{s}$ קיימת תאוטה בכיוון שמאל, ופרק הזמן $0.02 < t \le 0.03\text{s}$ התאוצה בכיוון ימין. על פי הגרף, בשני פרקי הזמן הנ"ל, התאוצה היא חיובית, וזה מתקיים רק אם הכיוון החיובי של ציר התנועה הוא ימינה.

ב. על פי החוק השלישי של ניוטון הכוח שהעגלה $B$ מפעילה על העגלה $A$ (הכוח $F_{BA}$) שווה בגודל ומנוגד בכיוון לכוח שהעגלה $A$ מפעילה על העגלה $B$, כלומר מתקיים:

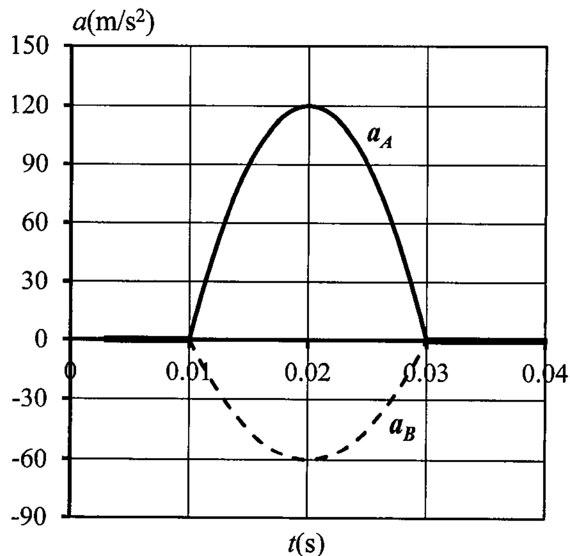
(1) $F_{AB} = -F_{BA}$

מצד שני, על פי החוק השני של ניוטון מתקיים: $F_{AB} = m_Ba_B$ ו- $F_{BA} = m_Aa_A$. נציב את שני הקשרים האחרונים במשוואה 1 ונקבל:

$m_Ba_B = -m_Aa_A$

$\Rightarrow a_B = -\frac{m_A}{m_B}a_A = \frac{0.4}{0.8}a_A = -\frac{1}{2}a_A$

לכן הגרף המתאר את $a_B$ כפונקציה של הזמן הוא הגרף הבא:




ג. כיוון המתקף שפעל על העגלה $A$ במהלך ההתנגשות הוא בכיוון הכוח שפעל על עגלה זו, כלומר בכיוון החיובי.

גודל מתקף זה שווה לשטח הכלוא בין גרף הכוח שפעל על עגלה $A$ (מהעגלה $B$) במהלך ההתנגשות ובין ציר הזמן. מכיוון שמתקיים $F_{BA} = m_Aa_A$, נקבל ששטח זה שווה למכפלת מסת העגלה $A$ בשטח הכלוא בין הגרף של תאוצת העגלה $A$ ובין ציר הזמן:

$J_{BA} = m_A(158 \times S_1)$

כאשר $S_1$ הוא השטח של משבצת אחת:

$S_1 = 0.001\text{s} \times 10\,\text{m/s}^2$

מכאן נקבל:

$J_{BA} = 0.4\,\text{kg} \times 158(0.001\text{s} \times 10\,\text{m/s}^2) =$

$= 0.632\,\text{Ns}$

ד. המתקף שהעגלה $A$ הפעילה על עגלה $B$ הוא: $J_{AB} = -0.632\,\text{Ns}$

ה. מתקיים: $J_{BA} = m_Au_A - m_Av_A$. מקשר זה נקבל:

$0.632 = 0.4u_A - 0.4(-1)$

$\Rightarrow u_A = 0.58\,\text{m/s}$

לגבי העגלה $B$ נקבל:

$$J_{AB} = m_B u_B - m_B v_B$$
$$-0.632 = 0.8u_B - 0.8(0.9)$$
$$\Rightarrow u_B = 0.11\,\text{m/s}$$

גישה נוספת לחישוב $u_B$ היא על ידי שימוש בחוק שימור התנע:

$$m_A u_A + m_B u_B = m_A v_A + m_B v_B$$
$$\Rightarrow 0.4(0.58) + 0.8u_B = 0.4(-1) + 0.8(0.9)$$
$$\Rightarrow u_B = 0.11\,\text{m/s}$$

### פתרון שאלה 7\פרק 5

א. על פי תרשים א' שבשאלה, לפני ההתנגשות העגלה נעה בכיוון שמאל, ולפי הגרף שבתרשים ב', מהירות העגלה לפני ההתנגשות היא חיובית, לכן הכיוון החיובי בבעיה זו הוא בכיוון שמאל (בהתייחס לתרשים א' שבשאלה).

ב. מכיוון שהגודל של מהירות העגלה לא השתנה לאחר ההתנגשות (על פי הגרף בתרשים ב' שבשאלה), ניתן להסיק שאין איבוד אנרגיה קינטית בהתנגשות, ולכן ההתנגשות היא אלסטית לחלוטין.

ג.

$$\Delta P = mv_2 - mv_1 = 0.6\left[(-4)-(4)\right] =$$
$$= -4.8\,\text{kg m/s}$$

ד. מתקיים: $J = \Delta P = -4.8\,\text{Ns}$.

ה. מתקיים: $\bar{F} = J/\Delta t$. על פי הגרף זמן ההתנגשות הוא: $\Delta t = 0.055 - 0.045 = 0.01\text{s}$, לכן:

$$\bar{F} = \frac{J}{\Delta t} = \frac{-4.8}{0.01} = -480\,\text{N}$$

### פתרון שאלה 8\פרק 5

א. מחוק שימור התנע נקבל:

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = 0$$
$$\Rightarrow \frac{u_1}{u_2} = -\frac{m_2}{m_1} = -1.5$$

ב. משימור האנרגיה עבור מערכת שתי המסות והקפיץ מתקיים:

$$\tfrac{1}{2}m_1 u_1^2 + \tfrac{1}{2}m_2 u_2^2 = \tfrac{1}{2}kx^2$$
$$\Rightarrow 0.2u_1^2 + 0.3u_2^2 = \tfrac{1}{2}600(0.1)^2 = 3$$

נציב מהסעיף הקודם: $u_1 = -1.5u_2$ ונקבל:

$$0.45u_2^2 + 0.3u_2^2 = 3$$
$$\Rightarrow u_2^2 = 4$$
$$\Rightarrow u_2 = \pm 2\,\text{m/s}$$

נבחר את התוצאה שסימנה חיובי ונקבל:

$$u_2 = 2\,\text{m/s}$$
$$u_1 = -1.5u_2 = -3\,\text{m/s}$$

ג. לשתי התיבות זמן נפילה זהה. על מנת לחשב זמן זה נבחר את הכיוון החיובי של ציר $y$ כלפי מטה ואת $y=0$ בקצה העליון של השולחן ונקבל:

$$y = y_0 + v_0 t + \tfrac{1}{2}at^2$$
$$\Rightarrow 1.25 = 0 + 0 + 5t^2$$
$$\Rightarrow t = 0.5\,\text{s}$$

מכאן:

$$AB = |u_1|t = 3\times 0.5 = 1.5\,\text{m}$$
$$CD = u_2 t = 2\times 0.5 = 1\,\text{m}$$

ד. מאחר ו- $AB = CD$, נקבל ש- $|u_1| = |u_2|$, וזה מתקיים רק אם $m_1 = m_2$ (בהתאם לקשר שהתקבל בסעיף א').

### פתרון שאלה 9\פרק 5

א. הכוחות ששתי הדיסקיות מפעילות זו על זו הם כוחות פעולה ותגובה, השווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם $(\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21})$. לכן הטענה בסעיף זה אינה נכונה.

ב. מצד אחד מתקיים:

$$(1)\quad \vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

מצד שני, לפי החוק השני של ניוטון מתקיים:

$$\begin{cases}\vec{F}_{12}=m_2\vec{a}_2\\ \vec{F}_{21}=m_1\vec{a}_1\end{cases}$$

נציב את שני הקשרים האחרונים במשוואה (1) ונקבל:

$$m_2\vec{a}_2=-m_1\vec{a}_1$$
$$\Rightarrow \vec{a}_2=-\frac{m_1}{m_2}\vec{a}_1=-2\vec{a}_1$$

מכאן שהטענה בסעיף זה נכונה.

ג. מאחר והכוח שדיסקית 1 מפעילה על הדיסקית 2 שווה בגודל ומנוגד בכיוון לכוח שהדיסקית 2 מפעילה על הדיסקית 1, נקבל שהמתקף שדיסקית 1 מפעילה על הדיסקית 2 שווה בגודל ומנוגד בכיוון למתקף שהדיסקית 2 מפעילה על הדיסקית 1. לכן הטענה בסעיף זה אינה נכונה.

ד. מאחר ומתקיים:

$$\vec{J}_{12}=m_2\vec{u}_2-m_2\vec{v}_2=\Delta P_2$$

וגם-

$$\vec{J}_{21}=m_1\vec{u}_1-m_1\vec{v}_1=\Delta P_1$$

ובנוסף מתקיים: $\vec{J}_{12}=-\vec{J}_{21}$, נקבל ש- $\Delta\vec{P}_1=-\Delta\vec{P}_2$. לכן הטענה בסעיף זה לא נכונה.

ה. מאחר ומתקיים: $\Delta\vec{P}_2=-\Delta\vec{P}_1$, נקבל:

$$m_2\vec{u}_2-m_2\vec{v}_2=-\left(m_1\vec{u}_1-m_1\vec{v}_1\right)$$
$$\Rightarrow m_2\left(\vec{u}_2-\vec{v}_2\right)=-m_1\left(\vec{u}_1-\vec{v}_1\right)$$
$$\Rightarrow \Delta\vec{v}_2=-\frac{m_1}{m_2}\Delta\vec{v}_1=-2\Delta\vec{v}_1$$

לפי הקשר האחרון נקבל שהטענה בסעיף זה אכן נכונה.

**פתרון חלופי:**

מהקשר $\vec{a}_2=-2\vec{a}_1$ מסעיף ב' מתקבל:

$$\frac{\Delta\vec{v}_2}{\Delta t}=-2\frac{\Delta\vec{v}_1}{\Delta t}$$
$$\Rightarrow \Delta\vec{v}_2=-2\Delta\vec{v}_1$$

## פתרון שאלה 10\פרק 5

א. על פי הגרף המוצג בתרשים ב' שבשאלה, הכיוון החיובי שנבחר בשאלה הוא ימינה (תרשים א'). מהקשר $P=mv$ נקבל:

$$v_1=\frac{P_1}{m_1}=\frac{8}{0.8}=10\,\text{m/s}$$
$$u_1=\frac{P_2}{m_1}=\frac{-2}{0.8}=-2.5\,\text{m/s}$$

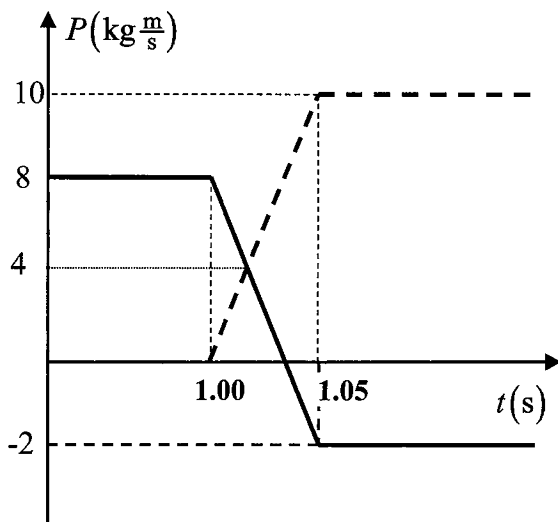
ב. מאחר וההתנגשות היא חזיתית ואלסטית לחלוטין, מתקיים:

$$u_1+v_1=u_2+v_2$$
$$\Rightarrow -2.5+10=u_2+0$$
$$\Rightarrow u_2=7.5\,\text{m/s}$$

ג. בגלל שימור התנע, מתקיים בכל רגע:

$$P_2(t)+P_1(t)=8$$
$$\Rightarrow P_2(t)=8-P_1(t)$$

מכאן נקבל את הגרף הבא עבור $P_2$ (הקו המקווקו):




ד. שיפוע הגרף נתון על ידי:

$$\frac{(m_1u_1)-(m_1v_1)}{\Delta t}=m_1\frac{u_1-v_1}{\Delta t}$$

הגודל $\frac{u_1-v_1}{\Delta t}$ הוא תאוצת העגלה 1 במהלך ההתנגשות. לכן נקבל ששיפוע הגרף מייצג את הגודל: $m_1a_1$, ולפי החוק השני של ניוטון, גודל

זה מייצג את הכוח שפעל על העגלה 1 במהלך ההתנגשות.

ה. לפי הסעיף הקודם, הכוח שפעל במהלך ההתנגשות על העגלה 1 שווה לשיפוע הגרף בקטע זה:

$$F_{21}=\frac{-2-8}{1.05-1}=-200\,\text{N}$$

על פי החוק השלישי של ניוטון נקבל שהכוח שפעל על העגלה 2 הוא: $F_{12}=+200\,\text{N}$.

ו. על פי הגרף שהתקבל בסעיף ג, התנע של עגלה 2 לאחר ההתנגשות הוא $10\,\text{kg m/s}$. לכן נקבל:

$$m_2u_2=10$$

בסעיף ב' קבלנו ש- $u_2=7.5\,\text{m/s}$, לכן נקבל:

$$m_2(7.5)=10\ \Rightarrow m_2=1\tfrac{1}{3}\,\text{kg}$$

**פתרון שאלה 11\פרק 5**

א. מהירות העגלה 1 רגע לפני ההתנגשות מתקבלת מחוק שימור האנרגיה:

$$\tfrac{1}{2}m_1v_1^2+0=0+m_1gh_1$$
$$\Rightarrow v_1=\sqrt{2gh_1}$$

ממשואת שימור תנע נקבל:

$$(1)\quad m_1u_1+m_2u_2=m_1\sqrt{2gh_1}+0$$

ומכיוון שההתנגשות אלסטית לחלוטין, מתקיים:

$$(2)\quad u_2+0=\sqrt{2gh_1}+u_1$$

נציב את המשוואה (2) במשוואה (1) ונקבל:

$$m_1u_1+m_2\left(\sqrt{2gh_1}+u_1\right)=m_1\sqrt{2gh_1}$$
$$\Rightarrow (m_1+m_2)u_1=(m_1-m_2)\sqrt{2gh_1}$$
$$\Rightarrow u_1=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\sqrt{2gh_1}$$

נציב את $u_1$ במשוואה (2) ונקבל:

$$u_2=\sqrt{2gh_1}+\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\sqrt{2gh_1}=$$
$$=\sqrt{2gh_1}\left(1+\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\right)=$$
$$=\sqrt{2gh_1}\left(\frac{m_1+m_2+m_1-m_2}{m_1+m_2}\right)$$
$$\Rightarrow u_2=\frac{2m_1}{m_1+m_2}\sqrt{2gh_1}$$

ב.

(1) על מנת שיתקיים ש- $u_1=0$, צריך להתקיים:

$$u_1=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\sqrt{2gh_1}=0$$
$$\Rightarrow m_1-m_2=0\quad\Rightarrow m_1=m_2$$

כלומר מסות שתי העגלות שוות.

(2) על מנת ששתי העגלות ינועו ימינה, צריך להתקיים: $u_1>0$ ו- $u_2>0$. המהירות $u_2$ תמיד חיובית. לעומת זאת, על מנת שיתקיים ש- $u_1>0$ צריך להתקיים: $m_1>m_2$.

(3) על מנת ששתי העגלות ינועו בכיוונים מנוגדים (עגלה 2 ימינה ועגלה 1 שמאלה), צריך להתקיים $u_1<0$. מתנאי זה נקבל: $m_1<m_2$.

ג. על מנת לחשב את הגובה $h_2$ אליו תגיע העגלה 1 על המשטח העקום לאחר ההתנגשות, נשתמש בחוק שימור האנרגיה:

$$m_1gh_2+0=0+\tfrac{1}{2}m_1u_1^2\Rightarrow h_2=\frac{u_1^2}{2g}$$

נציב את $u_1$ מסעיף א' ונקבל:

$$h_2=\frac{1}{2g}\left(\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\sqrt{2gh_1}\right)^2=\left(\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\right)^2h_1$$

ד. מחוק שימור התנע נקבל:

$$(m_1+m_2)u=m_1v_1+m_2v_2$$

נציב $v_2 = 0$ ו- $v_1 = \sqrt{2gh_1}$ (ראה סעיף א),
ונקבל:

$$u = \frac{m_1}{m_1 + m_2}\sqrt{2gh_1}$$

**פתרון שאלה 12\פרק 5**

א. הגשם התחיל לרדת ב- $t = 10\,\text{s}$, משום שעד לזמן זה מהירות העגלה קבועה, ולאחר זמן זה מהירות העגלה התחילה לקטון.

ב. הכוחות הפועלים בין טיפות הגשם ובין פני העגלה בכיוון תנועת העגלה, הם כוחות פעולה ותגובה. לכן בכיוון זה מתקיים חוק שימור התנע.
בכיוון האנכי לא מתקיים חוק שימור התנע בגלל נוכחות כוחות חיצוניים שפועלים על המערכת בכיוון זה (כוח הכובד שפועל על העגלה ועל טיפות הגשם, והכוח הנורמלי שפועל על העגלה).

ג. ההסבר לכך הוא שהמכל התמלא במים, וכתוצאה מכך, מסת העגלה הפסיקה לגדול, ולכן מהירות העגלה הפסיקה להשתנות.

ד. מסת המים שהתווספו לעגלה עד לרגע $t = 40\,\text{s}$ היא:

$$\Delta m = 0.05\frac{\text{kg}}{\text{s}}(40\,\text{s} - 10\,\text{s}) = 1.5\,\text{kg}$$

ה. משימור תנע בין שני המצבים, הראשון כשהמכל היה ריק והשני כשהמכל המלא במים, נקבל:

$$M_1 v_1 = (M_1 + \Delta m)v_2$$

כאשר $M_1$ היא מסת העגלה כולל המכל הריק, ו- $\Delta m = 1.5\,\text{kg}$ היא מסת המים שהתווספו למיכל כשהוא התמלא. לפי הגרף הנתון בתרשים ב' מתקיים: $v_1 = 1.5\,\text{m/s}$ ו- $v_2 = 1\,\text{m/s}$. נציב ונקבל:

$$M_1(1.5) = (M_1 + 1.5)\times 1$$
$$\Rightarrow M_1 = 3\,\text{kg}$$

ו. בפרק הזמן $10\,\text{s} \le t \le 40\,\text{s}$ מסת העגלה (כולל המכל והמים שבתוכו) כפונקציה של הזמן נתונה על ידי הביטוי הבא:

$$M(t) = 3 + 0.05(t - 10)$$

מחוק שימור התנע, נקבל שבכל רגע בפרק הזמן $10\,\text{s} \le t \le 40\,\text{s}$ התנע $M(t)v(t)$ שווה לתנע ההתחלתי של המערכת $M_1 v_1$ (כשהמכל היה ריק), כלומר:

$$M(t)v(t) = M_1 v_1$$

נציב בביטוי האחרון: $M_1 = 3\,\text{kg}$, $v_1 = 1.5\,\text{m/s}$ ו- $M(t) = 3 + 0.05(t - 10)$
ונקבל:

$$\left[3 + 0.05(t - 10)\right]v(t) = 3\times 1.5$$
$$\Rightarrow v(t) = \frac{4.5}{3 + 0.05(t - 10)}$$

ז. מהירות העגלה במקרה זה לא תשתנה. ניתן להסביר זאת בשתי גישות:

**הגישה הראשונה:**
בעת דליפת המים מהפתח בתחתית העגלה, לא פועלים כוחות הדדיים בין העגלה והמים בכיוון תנועת העגלה, לכן מהירות העגלה בכיוון זה לא תגדל או תקטן.

הגישה השנייה: נניח שמסת העגלה ברגע ההתחלה היא $M_1$ ומהירותה היא $v_1$. נניח גם, כי לאחר זמן מה, מסת המים בעגלה פחתה ב- $\Delta M$. בגלל שימור התנע בכיוון תנועת העגלה מתקיים:

$$M_1 v_1 = \Delta M u_2 + (M_1 - \Delta M)u_1$$

כאשר $u_1$ היא מהירות העגלה לאחר שמסת המים בה פחתה בשיעור $\Delta M$, ו- $u_2$ היא

מהירות מסת המים $\Delta M$ מיד לאחר עזיבתה את המכל. מכיוון שהמים הדולפים מהעגלה מקבלים את מהירות העגלה, מתקיים: $u_2 = v_1$.

נציב במשוואת שימור התנע ונקבל:

$$M_1 v_1 = \Delta M v_1 + (M_1 - \Delta M) u_1$$
$$\Rightarrow (M_1 - \Delta M) v_1 = (M_1 - \Delta M) u_1$$
$$\Rightarrow u_1 = v_1$$

כלומר מהירות העגלה לא תשתנה.

### פתרון שאלה 13\פרק 5

א. מכיוון שהתלמיד היה במנוחה בשלב הראשון $(0 \le t \le 5\text{s})$, מתקיים: $N = mg$, ולכן נקבל:

$$m = \frac{N}{g} = \frac{400}{10} = 40\,\text{kg}$$

ב. נבחר את הכיוון החיובי של הציר כלפי מעלה, ונקבל לפי החוק השני של ניוטון:

$$N - mg = ma$$
$$\Rightarrow a = \frac{N - mg}{m} = \frac{N - 400}{40}$$

לכן נקבל:

$(0-5\text{s})$: $a_1 = 0$

$(5-15\text{s})$: $a_2 = \frac{440-400}{40} = 1\,\text{m/s}^2$

$(15-25\text{s})$: $a_3 = \frac{400-400}{40} = 0$

$(25-30\text{s})$: $a_4 = \frac{320-400}{40} = -2\,\text{m/s}^2$

ג. נבטא קודם את מהירות המעלית (התלמיד) כפונקציה של הזמן:

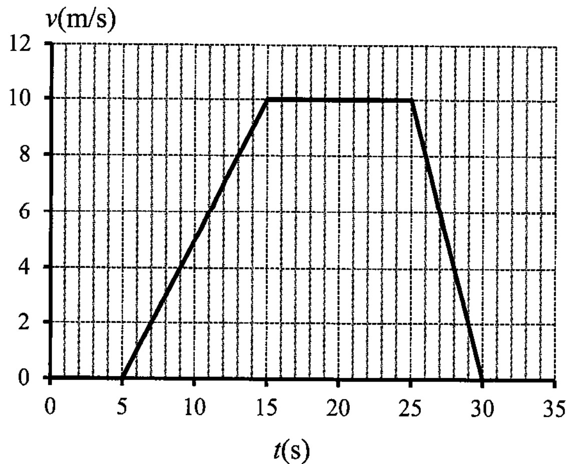
$(0-5\text{s})$: $v_1 = 0$

$(5-15\text{s})$: $v_2 = v_0 + a(t-5) = t-5$

$(15-25\text{s})$: $v_3 = 10$

$(25-30\text{s})$: $v_4 = 10 - 2(t-25)$

לפי קשרים אלה נקבל את הגרף הבא המתאר את מהירות המעלית כפונקציה של הזמן:




ד. מ- $t = 0\text{s}$ עד $t = 5\text{s}$ המעלית נמצאת במנוחה.

בפרק הזמן מ- $t = 5\text{s}$ עד $t = 15\text{s}$ המעלית מתחילה לנוע ממנוחה ועולה כלפי מעלה בתאוצה קבועה.

מ- $t = 15\text{s}$ עד $t = 25\text{s}$ המעלית ממשיכה לנוע כלפי מעלה אבל במהירות קבועה.

מ- $t = 25\text{s}$ עד $t = 30\text{s}$ המעלית ממשיכה לנוע כלפי מעלה אבל בתאוטה (תאוצה שלילית בכיוון החיובי), עד שהיא נעצרת ב- $t = 30\text{s}$.

ה. העתק המעלית עד לרגע $t = 30\text{s}$ שווה לשטח הכלוא בין גרף המהירות ובין ציר הזמן עד ל- $t = 30\text{s}$:

$$\Delta y = \frac{25+10}{2} \times 10 = 175\,\text{m}$$

המהירות הממוצעת של המעלית בפרק הזמן מ- $t = 0\text{s}$ עד ל- $t = 30\text{s}$ נתונה על ידי:

$$\overline{v} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{175}{30} = 5\tfrac{5}{6}\,\text{m/s}$$

ו. המתקף הכללי שפעל על התלמיד עד ל- $t = 25\text{s}$ נתון על ידי: $\Sigma J = J_N + J_{mg}$.

מתקיים:

$$J_N(0-25\text{s}) = 400 \times 5 + 440 \times 10 + 400 \times 10 =$$
$$= 10{,}400\,\text{N s}$$
$$J_{mg} = -mgt = -400 \times 25 = -10{,}000\,\text{N s}$$

מכאן נקבל:

$$\Sigma J = mv_2 - mv_1$$
$$\Rightarrow 10{,}400 - 10{,}000 = 40v_2 - 0$$
$$\Rightarrow v_2 = 10\,\text{m/s}$$

## פתרון שאלה 14\פרק 5

א. כשתאוצות האב והבן הן $a_1$ ו- $a_2$, בהתאמה מתקיימים:

$$a_1 = \frac{40\,\text{N}}{80\,\text{kg}} = 0.5\,\text{m/s}^2$$
$$a_2 = \frac{-40\,\text{N}}{40\,\text{kg}} = -1\,\text{m/s}^2$$
$$x_1 = x_{01} + v_{01}t + \tfrac{1}{2}a_1t_1^2 = 0 + 0 + 0.25t^2$$
$$x_2 = x_{02} + v_{02}t + \tfrac{1}{2}a_2t_2^2 = 12 + 0 - 0.5t^2$$

ברגע המפגש מתקיים $x_1 = x_2$:

$$0.25t^2 = 12 + 0 - 0.5t^2$$
$$0.75t^2 = 12 \qquad \Rightarrow t = 4\,\text{s}$$

מיקום המפגש:

$$x_1 = x_2 = 0.25(4)^2 = 4\,\text{m}$$

ב.

$$v_1 = 0.5(4) = 2\,\text{m/s}$$
$$v_2 = -1(4) = -4\,\text{m/s}$$

ג. מהירותם לאחר שהם נפגשים היא אפס, מאחר והכוחות הפועלים על האב ועל בנו בכיוון התנועה הם כוחות פעולה ותגובה, ולכן מערכת זו מוגדרת כסגורה, ובמערכת כזו התנע נשמר. מכיוון שהתנע ההתחלתי היה אפס, התנע הסופי יהיה אפס גם כן, וזה מתקיים רק אם מהירותם המשותפת היא אפס.

ניתן להראות זאת גם באמצעות חישוב:

משימור תנע נקבל:

$$(m_1 + m_2)u = m_1v_1 + m_2v_2$$
$$\Rightarrow u = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2} = \frac{80(2) + 40(-4)}{120} = 0$$

ד. כעת המערכת אינה סגורה, כי פועל על האב כוח חיצוני שאינו נובע מאינטראקציה הדדית בינו ובין בנו. כתוצאה מכך מהירותם הסופית לא תתאפס.

## פתרון שאלה 15\פרק 5

א. במהלך תנועת הגוף על העגלה, פועלים כוחות הדדיים בין הגוף והעגלה, ולכן ניתן להתייחס לתהליך כאל התנגשות בין הגוף והעגלה.

כאשר הגוף מגיע לגובה המקסימלי, מהירותו ביחס לעגלה תהיה אפס, לכן ברגע זה יש לעגלה ולגוף מהירויות שוות. בשל כך, ניתן להתייחס לתהליך ברגע זה כהתנגשות פלסטית. התנע נשמר במערכת זו בכיוון התנועה, ולכן נקבל:

$$(m + 4m)u = mv_0 + 0$$
$$\Rightarrow u = v_0 / 5 = 0.2v_0$$

ב. משימור האנרגיה עבור מערכת הגוף והגוף נקבל:

$$mgh_{max} + \tfrac{1}{2}(m + 4m)u^2 = \tfrac{1}{2}mv_0^2$$

נציב את $u$ מסעיף א' ונקבל:

$$mgh_{max} + \tfrac{1}{2}(5m)\frac{v_0^2}{25} = \tfrac{1}{2}mv_0^2$$

$$\Rightarrow gh_{max} = \frac{v_0^2}{2} - \frac{v_0^2}{10} \qquad \Rightarrow h_{max} = 0.4\frac{v_0^2}{g}$$

ג. כאשר הגוף חוזר למישור ההתחלתי, נפסקת האינטראקציה בינו ובין העגלה, וניתן להתייחס למצב ברגע זה כאל סוף תהליך ההתנגשות בין הגוף והעגלה. מכיוון שאין איבוד אנרגיה בתהליך זה, ניתן להתייחס להתנגשות כאל התנגשות אלסטית לחלוטין.

נבחר את הכיוון החיובי שמאלה ונקבל:

1. שימור תנע: $mv_0 + 0 = mu_1 + 4mu_2$

2. שימור אנרגיה: $v_0+u_1=0+u_2$

כאשר $u_1$ היא מהירות הגוף לאחר ההתנגשות (עם שובו של הגוף למישור ההתחלתי) ו-$u_2$ היא מהירות העגלה לאחר ההתנגשות. נציב את $u_2$ ממשוואה 2 במשוואה 1 ונקבל:

$$mv_0=mu_1+4m(v_0+u_1)$$
$$\Rightarrow u_1=-0.6v_0$$

נציב את $u_1$ במשוואה 2 ונקבל: $u_2=0.4v_0$.

ד. בגלל שימור האנרגיה נקבל שהאנרגיה הקינטית הסופית של המערכת שווה לאנרגיה הקינטית ההתחלתית $\frac{1}{2}mv_0^2$. ניתן להראות את זה גם באופן חישובי:

$$K_2=\tfrac{1}{2}mu_1^2+\tfrac{1}{2}(4m)u_2^2=$$
$$=\tfrac{1}{2}m(0.6v_0)^2+2m(0.4)^2=\tfrac{1}{2}mv_0^2=E_{K1}$$

**פתרון שאלה 16\פרק 5**

א. משימור האנרגיה נקבל:

$$mg\ell=\tfrac{1}{2}mv_1^2$$
$$\Rightarrow v_1=\sqrt{2g\ell}$$

ב. משימור תנע נקבל:

$$m_1v_1+0=m_1u_1+m_2u_2$$
$$\Rightarrow m\sqrt{2g\ell}=mu_1+2mu_2$$

ממשוואה זו נקבל:

$$(1)\quad \sqrt{2g\ell}=u_1+2u_2$$

ושוב, משימור אנרגיה נקבל: $v_1+u_1=v_2+u_2$, ומכאן:

$$(2)\quad \sqrt{2g\ell}+u_1=u_2$$

נציב את משוואה (2) במשוואה (1) ונקבל:

$$\sqrt{2g\ell}=u_1+2\left(\sqrt{2g\ell}+u_1\right)$$
$$\Rightarrow u_1=-\tfrac{1}{3}\sqrt{2g\ell}$$

ממשוואה (2) נקבל: $u_2=\frac{2}{3}\sqrt{2g\ell}$.

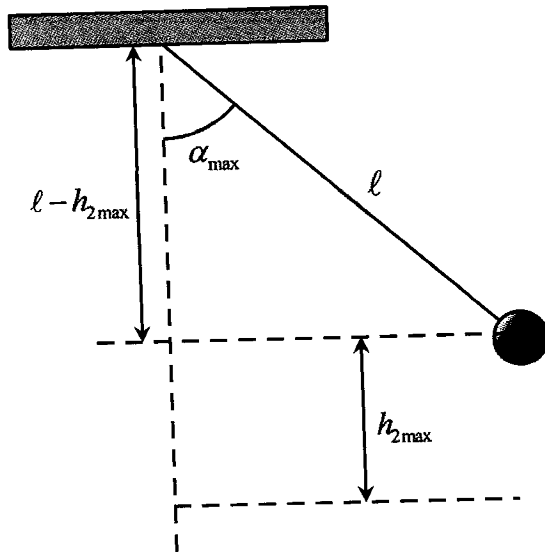
ג. נעשה שימוש בחוק שימור האנרגיה ונחשב את הגובה המקסימלי, $h_{2\max}$, אליו מגיע כדור 2 לאחר ההתנגשות:

$$\tfrac{1}{2}(2m)u_2^2=(2m)gh_{2\max}$$

נציב את $u_2$ מהסעיף הקודם ונקבל:

$$\tfrac{1}{2}\left[\tfrac{4}{9}(2g\ell)\right]=gh_{\max}$$
$$\Rightarrow h_{\max}=\tfrac{4}{9}\ell$$

על מנת לחשב את הזווית המקסימלית בין החוט והאנך, ניעזר בתרשים הבא:




מהתרשים מתקבל:

$$\cos\alpha_{\max}=\frac{\ell-h_{2\max}}{\ell}=\frac{\ell-\frac{4}{9}\ell}{\ell}=\frac{5}{9}$$
$$\Rightarrow \alpha_{\max}=56.25^\circ$$

ד. נשתמש בחוק שימור התנע על מנת לחשב את המהירות המשותפת של שני הכדורים מיד לאחר ההתנגשות:

$$m\left(\sqrt{2g\ell}\right)=(m+2m)u$$
$$\Rightarrow u=\tfrac{1}{3}\sqrt{2g\ell}$$

משימור האנרגיה נקבל:

$$\tfrac{1}{2}(3m)\left[\tfrac{1}{9}(2g\ell)\right]=(3m)gh_{\max}$$
$$\Rightarrow h_{\max}=\tfrac{1}{9}\ell$$

באותה גישה כמו בסעיף הקודם נקבל כאן:

$$\cos\alpha_{max} = \frac{\ell - h_{max}}{\ell} = \frac{\ell - \frac{1}{9}\ell}{\ell} = \frac{8}{9}$$
$$\Rightarrow \alpha_{max} = 27.26^\circ$$

**פתרון שאלה 17\פרק 5**

א. לפני שחרור הכדור, המהירויות של הכדור והקרונית שוות וגודלן $0.4\,m/s$ ביחס למשטח. בתהליך שחרור הכדור התלמיד לא מפעיל כוח על הכדור, ולכן לא מופעל על ידי הכדור כוח על התלמיד (על הקרונית), לכן המהירויות של הקרונית והכדור, לאחר שהתלמיד שחרר את הכדור, אינן משתנות ביחס למשטח ונשארות $0.4\,m/s$ כל אחת.

ב. נסמן את הכדור ב-1 ואת הקרונית ב-2 ונשתמש בחוק שימור התנע:

$$(M+m)v = mu_1 + Mu_2$$
$$(40+0.5)(0.4) = 0.5\times(-4) + 40u_2$$
$$\Rightarrow u_2 = 0.455\,m/s$$

ג. נשתמש בקשר: $J = \Delta P$ עבור הכדור ונקבל:

$$\bar{F}\Delta t = m_1u_1 - m_1v_1$$
$$\bar{F}\times 0.5 = 0.5\times(-4) - 0.5\times 0.4$$
$$\Rightarrow \bar{F} = -4.4\,N$$

ה.

$$W = E_{K2} - E_{K1} =$$
$$= (\tfrac{1}{2}m_1u_1^2 + \tfrac{1}{2}m_2u_2^2) - \tfrac{1}{2}Mv^2 =$$
$$= (\tfrac{1}{2}0.5\times 4^2 + \tfrac{1}{2}40\times 0.455^2) - \tfrac{1}{2}(40.5)\times 0.4^2 =$$
$$= 4.9\,J$$

**פתרון שאלה 18\פרק 5**

א. ברור שהתנע של התיבה לא נשמר בהתנגשות. גודל וכיוון התנע של התיבה אחרי ההתנגשות שונה מגודל וכיוון התנע שלה לפני ההתנגשות. הסיבה לכך היא שבמהלך ההתנגשות החיישן הפעיל כוח על התיבה, וזהו כוח חיצוני "למערכת".

ב. גודל המתקף שפעל על התיבה שווה לשטח הכלוא בין גרף הכוח שפעל על התיבה ובין ציר הזמן. מאחר ויחסית לציר שנבחר בבעיה זו כיוון המתקף שלילי, נקבל שהמתקף שפעל על התיבה הוא:

$$J = -134\left[(4\,N)(2\times10^{-3}\,s)\right] = -1.072\,N\,s$$

ג.

$$J = \bar{F}\Delta t$$
$$\Rightarrow \bar{F} = \frac{J}{\Delta t} = \frac{-1.072\,N\,s}{40\times10^{-3}\,s} = -26.8\,N$$

ד. נשתמש בקשר: $J = mv_2 - mv_1$

$$-1.072\,N\,s = 0.2u - 0.2\times 4$$
$$\Rightarrow u = -1.36\,m/s$$

ה. מכיוון שמתקיים $|u|<|v|$, האנרגיה הקינטית של התיבה אחרי ההתנגשות קטנה מהאנרגיה הקינטית שלה לפני ההתנגשות. לכן קיים איבוד אנרגיה קינטית וההתנגשות היא לא אלסטית.

**פתרון שאלה 19\פרק 5**

א. מכיוון שבכיוון ציר $x$ (הכיוון האופקי) לא פעלו כוחות בין הכדור והעגלה, המערכת סגורה בכיוון זה והתנע נשמר.

ב. בכיוון ציר $y$ המערכת אינה סגורה, כי פועלים בכיוון זה כוחות הכובד על הכדור ועל העגלה, ובנוסף, פועל על העגלה הכוח הנורמלי $N$.

ג. מכיוון שבתהליך פליטת הכדור לא פעלו כוחות הדדיים בין העגלה והכדור בכיוון אופקי (בכיוון ציר $x$), מהירות העגלה בכיוון זה לא משתנה. ניתן להראות זאת על ידי שימוש בחוק שימור התנע. בכיוון ציר $x$ מתקיים:

$$(m+M)v = mu_{1x} + Mu_{2x}$$

כאשר $v=3\text{m/s}$ היא מהירות העגלה לפני פליטת הכדור. $u_{1x}$ היא מהירות הכדור בכיוון ציר $x$ לאחר שנפלט מהעגלה, מהירות השווה למהירות העגלה $(3\text{m/s})$, ו-$u_{2x}$ היא מהירות העגלה לאחר פליטת הכדור. נציב ונקבל:

$$(0.1+1)(3)=0.1\times(3)+1u_{2x}$$

$$\Rightarrow u_{2x}=3\text{m/s}$$

ד. במהלך פגיעת הפלסטלינה בעגלה הנוסעת, פועלים בין הפלסטלינה והעגלה כוחות המקבילים לכיוון התנועה. העגלה מפעילה על הפלסטלינה כוח בכיוון התנועה שגורם לפלסטלינה לקבל מהירות בכיוון זה, והפלסטלינה מפעילה על העגלה כוח המנוגד לכיוון תנועת העגלה וגורם לעגלה להאט. על מנת לחשב את מהירות העגלה לאחר ההתנגשות, נשתמש בחוק שימור התנע בכיוון ציר $x$:

$$(m+M)u_x=m\times0+M\times3$$

$$1.2u_x=1\times3 \quad \Rightarrow u_x=2.5\text{m/s}$$

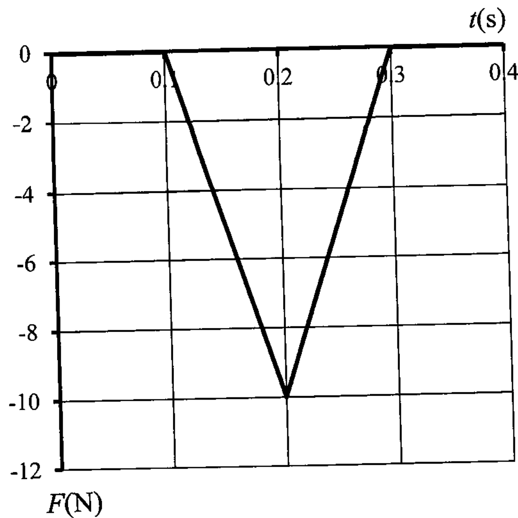
**פתרון שאלה 20\פרק 5**

א. כיוון הכוח שהתיבה מפעילה על החיישן הוא שמאלה, ומכיוון שכוח זה, לפי הגרף, הוא חיובי, ניתן להסיק שהכיוון החיובי הוא שמאלה (תרשים א').

ב. לפי תרשים ב', ההתנגשות התרחשה כעבור 0.1s לאחר שהחלה מדידת הזמן $(t=0)$. לכן מרחק התיבה מהחיישן בזמן הפעלת החיישן הוא:

$$\Delta x=vt=4(0.1)=0.4\text{m}$$

ג. על פי החוק השלישי של ניוטון, הכוח שהחיישן מפעיל על התיבה שווה בגודלו ומנוגד בכיוונו לכוח שהתיבה מפעילה על החיישן. לכן נקבל את הגרף הבא, שמתאר את הכוח המופעל על התיבה במהלך ההתנגשות:




ד. נשתמש בקשר: $J=mu-mv$ כאשר $v=4\text{m/s}$ היא המהירות ההתחלתית, $u$ היא המהירות שבה התיבה מוחזרת ו-$J$ הוא המתקף שפעל על התיבה:

$$J=\frac{-10(0.3-0.1)}{2}=-1\text{Ns}$$

נציב במשוואה $J=mu-mv$ ונקבל:

$$-1=0.2u-0.2(4)$$

$$\Rightarrow u=-1\text{m/s}$$

ה. צריך להתקיים:

$$\frac{-10\Delta t}{2}=0.2(-4)-0.2(4)$$

$$\Rightarrow \Delta t=0.32\text{s}$$

**פתרון שאלה 21\פרק 5**

א. משימור האנרגיה נקבל:

$$mgh=\tfrac{1}{2}mv^2$$

$$v=\sqrt{2gh}=\sqrt{2(10)(0.45)}=3\text{m/s}$$

ב. עבור התנגשות אלסטית לחלוטין מתקיים:

$$\begin{cases} m_1u_1+m_2u_2=m_1v_1+m_2v_2 \\ u_2+v_2=u_1+v_1 \end{cases}$$

נציב ונקבל:

$$\begin{cases} (1) \quad 0.4u_1+0.6u_2=0.4(3)+0 \\ (2) \quad u_2+0=u_1+3 \end{cases}$$

נציב (2) ב-(1):

$$0.4u_1+0.6\left(u_1+3\right)=1.2$$
$$\Rightarrow u_1=-0.6\,\text{m/s}\quad\Rightarrow u_2=2.4\,\text{m/s}$$

ג. שימור האנרגיה עבור הקפיץ:

$$\tfrac{1}{2}k\Delta\ell^2=\tfrac{1}{2}mv^2$$
$$\Rightarrow\Delta\ell=v\sqrt{\frac{m}{k}}=2.4\sqrt{\frac{0.6}{60}}=0.24\,\text{m}$$

ד. נבחר את הכיוון החיובי ימינה ונקבל:

$$J=m_2v_2-m_2v_1$$

כאשר $v_1=2.4\,\text{m/s}$ היא המהירות שבה התיבה מתנגשת בקפיץ ו-$v_2$, שערכה $-2.4\,\text{m/s}$, היא המהירות שבה התיבה מוחזרת מהקפיץ. נציב ונקבל:

$$J=0.6(-2.4)-0.6(2.4)=-2.88\,\text{Ns}$$

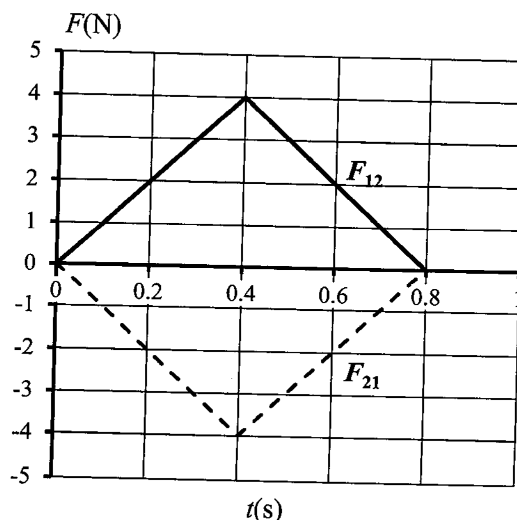
ה. משפט העבודה-אנרגיה:

$$W=\tfrac{1}{2}m_2v_2^2-\tfrac{1}{2}m_2v_1^2$$

מכיוון שמתקיים $v_1^2=v_2^2$ נקבל $W=0$.

**פתרון שאלה 22\פרק 5**

א. לפי החוק השלישי של ניוטון, הכוח שעגלה 2 מפעילה על עגלה 1 שווה בגודלו ומנוגד בכיוונו לכוח שעגלה 1 מפעילה על עגלה 2 $\left(F_{21}=-F_{12}\right)$. לכן נקבל את הגרף הבא המתאר את הכוח שעגלה 2 מפעילה על עגלה 1 (הקו המקווקו):




ב. נשתמש בקשר: $J_{12}=m_2u_2-m_2v_2$, כאשר $J_{12}$ הוא המתקף שעגלה 1 מפעילה על עגלה 2, השווה לשטח הכלוא בין גרף הכוח $F_{12}$ ובין ציר הזמן, וערכו:

$$J_{12}=\frac{4\times0.8}{2}=1.6\,\text{Ns}$$

נציב בקשר הנ"ל ונקבל:

$$1.6=0.8u_2-0.8\left(-2\right)$$
$$\Rightarrow u_2=0$$

על מנת לחשב את מהירות עגלה 1, נשתמש בקשר: $J_{21}=m_1u_1-m_1v_1$, כאשר:

$$J_{21}=\frac{-4\times0.8}{2}=-1.6\,\text{Ns}$$

נציב בקשר הנ"ל ונקבל:

$$-1.6=0.2u_1-0.2\left(3\right)$$
$$\Rightarrow u_1=-5\,\text{m/s}$$

<u>פתרון חלופי: באמצעות שימור התנע</u>

$$m_1u_1+m_2u_2=m_1v_1+m_2v_2$$
$$\Rightarrow 0.2u_1+0=0.2(3)+0.8(-2)$$
$$\Rightarrow u_1=-5\,\text{m/s}$$

ג. אם ההתנגשות אלסטית לחלוטין, צריך להתקיים:

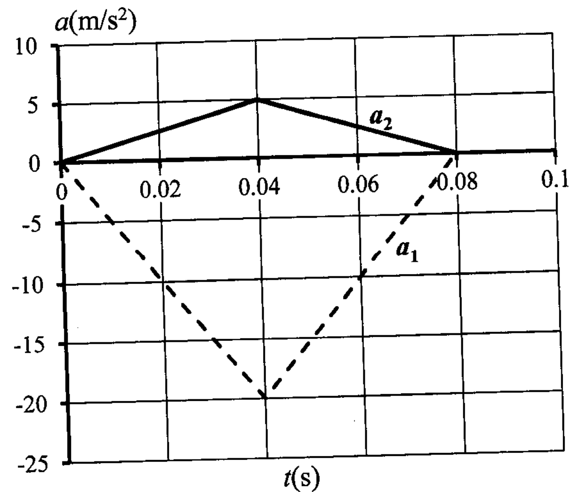
$$u_1+v_1=u_2+v_2$$

מתקיים:

$$u_1+v_1=-5+3=-2\,\text{m/s}$$
$$u_2+v_2=0+(-2)=-2\,\text{m/s}$$

לכן האנרגיה הקינטית של שתי העגלות נשמרת בהתנגשות וההתנגשות היא אלסטית לחלוטין.

ד. מתקיים: $a_1=F_{21}/m_1$ ו-$a_2=F_{12}/m_2$, לכן על סמך הגרף המתואר בסעיף א' נקבל את הגרפים המתוארים בתרשים הבא, ומתארים את תאוצת כל אחת משתי העגלות:




ה. על מנת שיתקיים חוק שימור התנע, צריך להתקיים שהכוחות המופעלים על שתי העגלות הם כוחות פעולה ותגובה, כלומר שהמערכת סגורה. במקרה שההתנגשות מתרחשת על מישור משופע, פועלים על העגלות בכיוון התנועה, בנוסף לכוחות ההדדיים הפועלים במהלך ההתנגשות, רכיבי כוח הכובד: $m_1 g\sin\alpha$ ו- $m_2 g\sin\alpha$ כאשר $\alpha$ היא זווית שיפוע המישור המשופע. כוחות אלה אינם כוחות פעולה ותגובה, לכן המערכת כעת אינה "מערכת סגורה" בכיוון התנועה ולכן לא מתקיים חוק שימור התנע.

## פתרון שאלה 23\פרק 5

א. גודל וכיוון התנע השקול של שני הכדורים לאחר ההתנגשות שווה לגודל וכיוון התנע השקול של שני הכדורים לפני ההתנגשות, שהוא:

$$P = m_1 v_1 + 0 = 0.2(6) = 1.2\,\text{kg m/s}$$

וכיוונו בכיוון החיובי של ציר $x$.

ב. לפי החוק השני של ניוטון, כיוון הכוח המופעל על כדור 2 הוא בכיוון התאוצה של כדור זה. מכיוון שכדור 2 היה במנוחה לפני ההתנגשות, ולאחר ההתנגשות הוא נע בכיוון היוצר זווית של $45^\circ$ עם ציר $x$, מסיקים מכך שכיוון תאוצת כדור 2 במהלך ההתנגשות הוא בכיוון היוצר זווית של $45^\circ$ עם ציר $x$, וזהו כיוון הכוח שמופעל עליו.

ג. כיוון המהירות של כדור 2 לאחר ההתנגשות יוצר זווית של $45^\circ$ עם ציר $x$. לחישוב גודל מהירות זו נשתמש בקשר:

$$J_{12} = m_2 u_2 - m_2 v_2$$

כאשר:

$$J_{12} = \frac{0.1\times 10}{2} = 0.5\,\text{Ns}$$

נציב ונקבל:

$$0.5 = 0.25u_2 - \cancel{m_2 v_2}$$

$$\Rightarrow u_2 = 2\,\text{m/s}$$

ד. הכוח שכדור 2 מפעיל על כדור 1 שווה בגודלו ומנוגד בכיוונו לכוח שכדור 1 מפעיל על כדור 2, כלומר הוא פועל בכיוון היוצר זווית של $225^\circ$ עם הציר החיובי של ציר $x$.

ה. שימור התנע בכיוון ציר $x$:

$$m_1 v_{1x} + 0 = m_1 u_{1x} + m_2 u_{2x}$$

$$0.2\times 6 = 0.2u_{1x} + 0.25(2\cos 45)$$

$$u_{1x} = 4.23\,\text{m/s}$$

ובכיוון ציר $y$:

$$0 + 0 = m_1 u_{1y} + m_2 u_{2y}$$

$$0 = 0.2u_{1y} + 0.25(2\sin 45)$$

$$u_{1y} = -1.77\,\text{m/s}$$

מכאן נקבל:

$$u_1 = \sqrt{4.23^2 + 1.77^2} = 4.59\,\text{m/s}$$

בכיוון:

$$\tan\beta = -1.77/4.23$$

$$\Rightarrow \beta = -22.7^\circ$$

## פתרון שאלה 24\פרק 5

א. בגלל נוכחות הקפיץ האידאלי בין שתי העגלות, האנרגיה הקינטית של שתי העגלות

לאחר ההתנגשות תהיה שווה לאנרגיה הקינטית שלהן לפני ההתנגשות. לכן ההתנגשות היא אלסטית לחלוטין.

ב. עבור ההתנגשות האלסטית לחלוטין מתקיים:

$$\begin{cases} m_1u_1+m_2u_2=m_1v_1+m_2v_2 \\ u_2+v_2=u_1+v_1 \end{cases}$$

נציב ונקבל:

$$\begin{cases} (1)\ \ 0.2u_1+0.6u_2=0.2(2)+0.6(-1) \\ (2)\ \ u_2+(-1)=u_1+2 \end{cases}$$

ממשוואה (2) נקבל: $u_2=u_1+3$. נציב במשוואה (1) ונקבל:

$$0.2u_1+0.6(u_1+3)=-0.2$$
$$\Rightarrow 0.8u_1=-2$$
$$\Rightarrow u_1=-2.5\,\text{m/s}$$
$$\Rightarrow u_2=0.5\,\text{m/s}$$

ג. ברגע בו המהירויות שוות מתקיים:

$$(m_1+m_2)u=m_1v_1+m_2v_2$$
$$\Rightarrow (0.2+0.6)u=0.2(2)+0.6(-1)$$
$$\Rightarrow u=-0.25\,\text{m/s}$$

ד. ההתכווצות המקסימלית של הקפיץ מתרחשת ברגע שבו לשתי העגלות יש את אותה המהירות (שגודלה $-0.25\,\text{m/s}$), כי אז ההתנגשות פלסטית וקיים איבוד אנרגיה קינטית מרבי. ניתן לחשב את שיעור ההתכווצות המקסימלית, $\Delta\ell_{max}$, על ידי שימור האנרגיה:

$$\tfrac{1}{2}k\Delta\ell_{max}^2=(\tfrac{1}{2}m_1v_1^2+\tfrac{1}{2}m_2v_2^2)-\tfrac{1}{2}(m_1+m_2)u^2$$
$$\Rightarrow 135\Delta\ell_{max}^2=\left[(0.2)(2)^2+(0.6)(1)^2\right]-(0.8)(0.25)^2$$
$$\Rightarrow \Delta\ell_{max}=0.1\,\text{m}$$

ה. טענה זו אינה נכונה, כי מתקיים:

עבור העגלה 2: $J_{12}=m_2u_2-m_2v_2=\Delta P_2$

עבור העגלה 1: $J_{21}=m_1u_1-m_1v_1=\Delta P_1$

מכיוון שמתקיים: $J_{12}=-J_{21}$, נקבל: $\Delta P_1=-\Delta P_2$. כלומר השינוי בתנע של כל אחת משתי העגלות שווה בגודל ומנוגד בכיוון לשינוי בתנע של העגלה האחרת.

ו. מהקשר $\Delta P_1=-\Delta P_2$ שהתקבל בסעיף הקודם, נקבל:

$$m_1u_1-m_1v_1=-(m_2u_2-m_2v_2)$$
$$\Rightarrow u_1-v_1=-\frac{m_2}{m_1}(u_2-v_2)=-3(u_2-v_2)$$
$$\Rightarrow \Delta v_1=-3\Delta v_2$$

לכן הטענה של התלמיד נכונה.

## פתרון שאלה 25\פרק 5

א. נרשום את משוואות שמור התנע ושימור האנרגיה בהתנגשות חזיתית ואלסטית לחלוטין:

$$\begin{cases} m_1u_1+m_2u_2=m_1v_1+m_2v_2 \\ u_2+v_2=u_1+v_1 \end{cases}$$

נציב $v_2=0$ ונקבל:

$$\begin{cases} (1)\qquad m_1u_1+m_2u_2=m_1v_1 \\ (2)\qquad u_2=u_1+v_1 \end{cases}$$

ממשוואה (2) נקבל: $v_1=u_2-u_1$. נציב במשוואה (1) ונקבל:

$$m_1u_1+m_2u_2=m_1(u_2-u_1)$$
$$\Rightarrow u_1=\left(\frac{m_1-m_2}{2m_1}\right)u_2 \quad (3)$$

ב.

(1) על מנת שכיווני התנועה של שתי העגלות יהיו מנוגדים אחרי ההתנגשות, צריך להתקיים:

$$\frac{m_1-m_2}{2m_1}<0 \qquad \Rightarrow m_1<m_2$$

(2) על מנת שכיווני התנועה של שתי העגלות אחרי ההתנגשות יהיו זהים (בכיוון החיובי),

צריך להתקיים:

$$\frac{m_1-m_2}{2m_1}>0 \quad \Rightarrow m_1>m_2$$

ג. נרשום מהחדש את משוואות שמור התנע ושימור האנרגיה בהתנגשות חזיתית ואלסטית לחלוטין:

$$\begin{cases}(1) & m_1u_1+m_2u_2=m_1v_1\\(2) & u_2=u_1+v_1\end{cases}$$

מהמשוואה השנייה נקבל: $u_1=u_2-v_1$. נציב במשוואה הראשונה ונקבל:

$$m_1(u_2-v_1)+m_2u_2=m_1v_1$$

$$\Rightarrow u_2=\frac{2m_1}{m_1+m_2}v_1$$

ד.

(1) על מנת שיתקיים: $u_2=v_1$ צריך להתקיים:

$$\frac{2m_1}{m_1+m_2}=1$$

$$\Rightarrow m_2=m_1$$

על מנת לחשב את מהירות עגלה 1 אחרי ההתנגשות נציב $u_2=v_1$ במשוואה (2) שבסעיף ג', ונקבל: $u_1=0$. כלומר במקרה זה העגלה 1 נעצרת אחרי ההתנגשות.

(2) מתקיים $u_2>v_1$ כאשר:

$$\frac{2m_1}{m_1+m_2}>1$$

$$2m_1>m_1+m_2$$

$$\Rightarrow m_1>m_2$$

**פתרון שאלה 26\פרק 5**

א. מאחר שהכיוון החיובי נבחר להיות ימינה (תרשים א'), ניתן להסיק מכך שלפני ההתנגשות מהירות עגלה 1 היא חיובית ומהירות עגלה 2 היא שלילית. לפי כך, גרף $a$ בתרשים ב' מתאר את מהירות העגלה 1, וגרף $b$ מתאר את המהירות של עגלה 2.

ב. נחשב את התנע הכולל של שתי העגלות לפני ואחרי ההתנגשות.

לפני ההתנגשות:

$$\Sigma P_1=m_1v_1+m_2v_2=0.4(2)+0.6(-3)=$$
$$=-1\,\text{kg m/s}$$

אחרי ההתנגשות:

$$\Sigma P_2=m_1u_1+m_2u_2=0.4(-4)+0.6(1)=$$
$$=-1\,\text{kg m/s}$$

מכאן שמתקיים: $\Sigma P_1=\Sigma P_2$.

ג. אם ההתנגשות אלסטית לחלוטין, צריך להתקיים: $u_1+v_1=u_2+v_2$.

לפי הגרף בתרשים ב' מתקבל:

$$u_1+v_1=-4+2=-2\,\text{m/s}$$
$$u_2+v_2=1+(-3)=-2\,\text{m/s}$$

לכן ההתנגשות היא אלסטית לחלוטין.

ד. בנקודה זו יש לשתי העגלות מהירות זהה. נסמן מהירות זו ב- $u$, ונקבל משימור התנע:

$$(m_1+m_2)u=m_1v_1+m_2v_2$$
$$\Rightarrow(0.4+0.6)u=0.4(2)+0.6(-3)$$
$$\Rightarrow u=-1\,\text{m/s}$$

ה. שיפוע גרף המהירות מייצג את תאוצת הגוף. לכן היחס בין שיפועי הגרפים של המהירויות במהלך ההתנגשות שווה ליחס בין תאוצות שתי העגלות.

לפי החוק השני של ניוטון מתקיים:

$$a_1=F_{21}/m_1$$
$$a_2=F_{12}/m_2$$

מכאן נקבל:

$$\frac{a_1}{a_2}=\frac{F_{21}/m_1}{F_{12}/m_2}=\frac{m_2}{m_1}\frac{F_{21}}{F_{12}}$$

מכיוון שבמהלך ההתנגשות $F_{12}=-F_{21}$, נקבל:

$$\frac{a_1}{a_2}=\frac{m_2}{m_1}\frac{F_{21}}{F_{12}}=-\frac{m_2}{m_1}=\frac{-0.6}{0.4}=-1.5$$

**פתרון שאלה 27\פרק 5**

א. על פי חוק שימור התנע מתקיים שהתנע השקול של שני הכדורים אחרי ההתנגשות שווה לתנע השקול שלהם לפני ההתנגשות. לכן נקבל:

$$P_{fx}=P_{1x}+P_{2x}=5+7=12\,\text{kg m/s}$$
$$P_{fy}=P_{1y}+P_{2y}=(-5)+7=2\,\text{kg m/s}$$

האות $f$ מציינת final (סופי).

ב. רכיבי המתקף שפעל על כדור 1 נתונים על ידי:

$$J_{1x}=P'_{1x}-P_{1x}=6-5=1\,\text{Ns}$$
$$J_{1y}=P'_{1y}-P_{1y}=5-(-5)=10\,\text{Ns}$$

המתקף שפעל על כדור 2 שווה בגודלו ומנוגד בכיוונו למתקף שפעל על כדור 1, לכן נקבל:

$$J_{2x}=-J_{1x}=-1\,\text{Ns}$$
$$J_{2y}=-J_{1y}=-10\,\text{Ns}$$

ג.

$$F_{1x}=J_{1x}/\Delta t=1/0.1=10\,\text{N}$$
$$F_{1y}=J_{1y}/\Delta t=10/0.1=100\,\text{N}$$

מכיוון שמתקיים, לפי החוק השלישי של ניוטון, $\vec{F}_{12}=-\vec{F}_{21}$, נקבל שרכיבי הכוח שפעל על כדור 2 הם:

$$F_{2x}=-10\,\text{N}$$
$$F_{2y}=-100\,\text{N}$$

ד.

(1) מתקיים: $\vec{J}_2=\vec{P}'_2-\vec{P}_2$. מקשר זה נקבל:

$$P'_{2x}=J_{2x}+P_{2x}=-1+7=6\,\text{kg m/s}$$
$$P'_{2y}=J_{2y}+P_{2y}=-10+7=-3\,\text{kg m/s}$$

(2) משימור התנע נקבל בכיוון ציר $x$:

$$P'_{2x}+P'_{1x}=P_{2x}+P_{1x}$$
$$\Rightarrow P'_{2x}+6=7+5$$
$$\Rightarrow P'_{2x}=6\,\text{kg m/s}$$

ובכיוון ציר $y$:

$$P'_{2y}+P'_{1y}=P_{2y}+P_{1y}$$
$$\Rightarrow P'_{2y}+5=7+(-5)\quad \Rightarrow P'_{2x}=-3\,\text{kg m/s}$$

**פתרון שאלה 28\פרק 5**

א. מאחר והקפיץ שומר על תכונת האלסטיות שלו במהלך ההתנגשות, ההתנגשות היא אלסטית לחלוטין. לכן מתקיים:

$$\begin{cases} m_1u_1+m_2u_2=m_1v_1+m_2v_2 \\ u_2+v_2=u_1+v_1 \end{cases}$$

נבחר את הכיוון החיובי ימינה. נציב ונקבל:

$$\begin{cases} (1)\quad 0.3u_1+0.5u_2=0.3(4)+0 \\ (2)\quad u_2+0=u_1+4 \end{cases}$$

נציב $u_2$ ממשוואה (2) במשוואה 1 ונקבל:

$$0.3u_1+0.5(u_1+4)=1.2$$
$$0.8u_1=-0.8$$
$$\Rightarrow u_1=-1\,\text{m/s}$$
$$\Rightarrow u_2=+3\,\text{m/s}$$

ב. הקפיץ מפעיל על העגלות כוחות שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם.

ג. על מנת לחשב את גודלו של הכוח המרבי שהקפיץ מפעיל על כל אחת משתי העגלות, נחשב קודם את גודל ההתכווצות המקסימלית של הקפיץ. ההתכווצות המקסימלית של הקפיץ מתקבלת ברגע שבו לשתי העגלות יש אותה מהירות במהלך ההתנגשות. גודל מהירות זו $(u)$ נתון על ידי:

$$(m_1+m_2)u=m_1v_1+m_2v_2$$
$$\Rightarrow (0.3+0.5)u=0.3(4)+0$$
$$\Rightarrow u=1.5\,\text{m/s}$$

לחישוב גודל ההתכווצות המקסימלית של הקפיץ במהלך ההתנגשות, $\Delta\ell_{max}$, נשתמש בשימור האנרגיה:

$$\tfrac{1}{2}k\Delta\ell^2_{max}=(\tfrac{1}{2}m_1v_1^2+\tfrac{1}{2}m_2v_2^2)-\tfrac{1}{2}(m_1+m_2)u^2$$
$$\Rightarrow 660\Delta\ell^2_{max}=(0.3\times4^2+0)-(0.3+0.5)(1.5)^2$$
$$\Rightarrow \Delta\ell_{max}=0.1\,\text{m}$$

לכן גודלו של הכוח המרבי שהקפיץ מפעיל על כל אחת משתי העגלות במהלך ההתנגשות נתון על ידי:

$$\left(F_{sp}\right)_{max} = k\Delta\ell_{max} = 660(0.1) = 66\,\text{N}$$

ד. מתקיים:

$$J_{12} = m_2u_2 - m_2v_2 = 0.5(3) - 0 = 1.5\,\text{Ns}$$
$$\Rightarrow J_{21} = -1.5\,\text{Ns}$$

ה. עבודת הכוח שהקפיץ מפעיל על עגלה 1 בתהליך ההתנגשות היא:

$$W_1 = \tfrac{1}{2}m_1u_1^2 - \tfrac{1}{2}m_1v_1^2 =$$
$$= \tfrac{1}{2}(0.3)(-1)^2 - \tfrac{1}{2}(0.3)(4)^2 = -2.25\,\text{J}$$

עבודת הכוח שהקפיץ מפעיל על עגלה 2 בתהליך ההתנגשות היא:

$$W_1 = \tfrac{1}{2}m_2u_2^2 - \tfrac{1}{2}m_2v_2^2 = \tfrac{1}{2}(0.5)(3)^2 - 0 =$$
$$= 2.25\,\text{J}$$

במקרה זה מתקיים $W_1 = -W_2$ בגלל שההתנגשות היא אלסטית לחלוטין. יש לציין שבדרך כלל $W_1 \neq -W_2$.

## פתרון שאלה 29\פרק 5

א. שינוי האנרגיה המכנית נתון על ידי:

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

כאשר $E_1$ היא האנרגיה המכנית הכוללת ההתחלתית השווה ל- $U_{G1} = mgh_1$, ו- $E_2$ היא האנרגיה המכנית הכוללת הסופית ששווה ל- $U_{G2} = mgh_2$. לכן נקבל:

$$\Delta E = mgh_2 - mgh_1 = 4(1.25) - 4(5) = -15\,\text{J}$$

ב. המתקף נתון על ידי:

$$J = mu - mv$$

כאשר $v$ היא המהירות שבה הכדור פוגע במשטח, ו- $u$ היא המהירות שבה הכדור מוחזר מהמשטח. על מנת לחשב את $u$ ו- $v$ נשתמש בחוק שימור האנרגיה המכנית של הכדור המהלך הנפילה ובמהלך החזרה.

מתקיים:

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = mgh_1$$
$$\Rightarrow v = \pm\sqrt{2gh_1} = \pm 10\,\text{m/s}$$

אם נבחר את הכיוון החיובי כלפי מעלה, נקבל:

$v = -10\,\text{m/s}$.

באותה גישה נקבל:

$$\tfrac{1}{2}mu^2 = mgh_2$$
$$\Rightarrow u = \pm\sqrt{2gh_2} = \pm 5\,\text{m/s}$$

בגלל שכיוון $u$ הוא בכיוון החיובי, נקבל:

$u = 5\,\text{m/s}$.

לכן נקבל:

$$J = mu - mv = 0.4(5) - 0.4(-10) = 6\,\text{Ns}$$

ג. מתקיים:

$$J = J_F + J_{mg} = (\bar{F} - mg)\Delta t$$

כאשר $\bar{F}$ הוא הכוח הממוצע שהמשטח הפעיל על הכדור במהלך ההתנגשות. על סמך הסעיף הקודם נקבל:

$$(\bar{F} - mg)\Delta t = 6$$
$$(\bar{F} - 4)(0.1) = 6$$
$$\Rightarrow \bar{F} = 64\,\text{N}$$

ד. עכשיו מתקיים:

$$(\bar{F} - mg)\Delta t = mu - mv$$
$$\Rightarrow (\bar{F} - 4)(0.1) = 0 - 0.4(-10)$$
$$\Rightarrow \bar{F} = 44\,\text{N}$$

ה. המשטח מפעיל כוח ממוצע הגדול ביותר כאשר הכדור מוחזר באותה מהירות (ההתנגשות אלסטית לחלוטין). במקרה זה נקבל:

$$(\bar{F} - mg)\Delta t = mu - mv$$
$$\Rightarrow (\bar{F} - 4)(0.1) = 0.4(10) - 0.4(-10)$$
$$\Rightarrow \bar{F} = 84\,\text{N}$$